



Gesundheitliche Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich

Eine praxisnahe Untersuchung mit Hinweisen zu
Planung und Bau von Wohnungslüftungsanlagen

Schlussbericht Phase 2

Zürich, Mai 2003

Inhaltsverzeichnis	Seite
Zusammenfassung	III
1. Einführung	1
1.1. Hintergrund dieser Untersuchung	1
1.2. Bezug zu anderen Untersuchungen und Forschungsarbeiten	3
2. Ziel und Vorgehen	5
2.1. Problemstellung	5
2.2. Ziel des Teil-Projektes „Gesundheitliche Aspekte – Phase 2“	6
2.3. Vorgehen.....	6
2.4. Abgrenzung	6
3. Verbreitete Systeme der Komfortlüftungsanlagen	7
3.1. Charakterisierung.....	7
3.2. Beurteilungskriterien	8
3.2.1 Das System „Comfosystem“ (Zehnder Comfosystems AG).....	8
3.2.2 Das System „Revitair“ (Bartholet-Nilan AG)	9
3.2.3 Das System „Helios“ (Helios Ventilatoren AG)	10
3.2.4 Das System „Pluggit“ (Gebr. Tobler AG)	11
3.2.5 Das System „Schrag“ (Visionair/Vescal AG)	13
3.2.6 Das System „SM-Heag“ (SM-Heag AG)	14
3.3. Filter und Filterqualitäten.....	15
4. Reinigung von Leitungssystemen	18
4.1. Allgemein.....	18
4.2. Notwendigkeit einer Reinigung	19
4.3. Inspektion, Reinigung und Desinfektion.....	19
4.3.1 Inspektion.....	20
4.3.2 Reinigung	22
4.3.3 Desinfektion	27
4.4. Erfahrungen aus einer durchgeführten Reinigung	27
5. Messungen in vier Gebäuden	28
5.1. Übersicht zu den durchgeführten Messungen	28
5.1.1 Wahl der Messobjekte und Messstellen	28
5.1.2 Unterstützende Luftfeuchte- und Lufttemperaturmessungen	30
5.2. Technisch-wissenschaftliche Angaben zu den Messungen	30
5.2.1 Physikalische Messungen	30
5.2.2 Alveolengängiger Staub.....	32
5.2.3 Gase	32
5.2.4 Flüchtige organische Verbindungen (VOC).....	33

5.2.5	Endotoxine	33
5.2.6	Luftkeimzahlen	33
5.3.	Situationsbeschreibung zu den Messobjekten.....	35
5.3.1	Gebäude A.....	35
5.3.2	Gebäude B.....	37
5.3.3	Gebäude C.....	39
5.3.4	Gebäude D.....	41
6.	Ergebnisse der Messungen.....	43
6.1.	Wichtige Informationen zu den Messungen.....	43
6.2.	Physikalische Parameter.....	44
6.2.1	Ergebnisse der physikalischen Parameter	44
6.2.2	Interpretation der physikalischen Messresultate	49
6.3.	Chemische Schadstoffe	51
6.3.1	Ergebnisse der chemischen Schadstoffmessungen.....	51
6.3.2	Interpretation der chemischen Messresultate.....	61
6.4.	Biologische Schadstoffe.....	65
6.4.1	Ergebnisse der biologischen Schadstoffmessungen.....	65
6.4.2	Interpretation der biologischen Messresultate	70
6.5.	Spezielle Beobachtungen	72
6.5.1	Allgemein	72
6.5.2	Gebäude A.....	72
6.5.3	Gebäude B.....	72
6.5.4	Gebäude C.....	72
6.5.5	Gebäude D.....	75
7.	Schlussfolgerungen.....	76
8.	Zukünftiger Forschungsbedarf.....	77
9.	Literatur	77
Anhang 1:	Das internationale Projekt AIRLESS.....	A-1

Autoren: Dr. Werner Hässig, dipl. Masch. Ing. ETH, Basler & Hofmann
Dr. Annick Lalive d'Epinaay, dipl. Arch. ETH, Basler & Hofmann
Pascal Fotsch, dipl. El. Ing. HTL, Basler & Hofmann
Dr. Patrick Steinle, dipl. natw. ETH, SUVA

Mai 2003, B 3050-2, WPH/AL/PF/SNP

Basler & Hofmann
Ingenieure und Planer AG, Mitglied SIA/USIC

Zürich: Forchstrasse 395, CH-8029 Zürich
Tel. 01 387 11 22, Fax 01 387 11 00

Zusammenfassung

Das Untersuchungsprojekt "Gesundheitliche und ökologische Aspekte der Komfortlüftung" ist eine gemeinsame Initiative von Firmen und verschiedenen öffentlich-rechtlichen Organisationen, welche im Bereich der Komfortlüftung tätig sind. Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse einer mehrteiligen messtechnischen Untersuchung der hygienischen/ gesundheitlichen Situation in Komfortlüftungen neuerer Wohnbauten dokumentiert.

Zum einen wird die umfassend vorhandene Literatur beschrieben und diskutiert und zum anderen werden neuste Messergebnisse zur Lüftungshygiene aus vier Gebäuden angeführt und interpretiert. Im weiteren werden wichtige in der Schweiz eingesetzte Zuluftleitungs-Systeme beurteilt sowie ein Beschrieb der Inspektion und Reinigung von Lüftungskanälen angeführt.

Die Messungen in den vier Gebäuden erfolgten zu drei verschiedenen Jahreszeiten und umfassten neben physikalischen Parametern die Bestimmung von alveolengängigem Staub, Endotoxinen, Bakterien, Schimmelpilzen, verschiedene Gase und VOC.

Die wichtigsten Ergebnisse lassen sich grob wie folgt zusammenfassen. Die messtechnisch festgestellten (luft-)hygienischen Verhältnisse in den Wohnungen zeigten überall gute Resultate. Der Einfluss der Lüftungstechnischen Anlagen (Komfortlüftung) auf die Raumluftqualität war abgesehen von vereinzelt Mängeln generell vorteilhaft. Als bedenklich sind aber mindestens zwei festgestellte erhebliche Planungs- und Ausführungsmängel zu werten. Hier wird ein grosser Fortbildungsbedarf für Architekten und Lüftungsplaner geortet. Eine Reinigung der Luftleitungen ist vielerorts wegen schlechter Zugänglichkeit nur mit erheblichem Aufwand möglich. Generell wird der Inspektion und Reinigung von Komfortlüftungen noch zu wenig Beachtung geschenkt. Die Tatsache, dass trotz verschiedentlich angetroffener Anlagenmängel insgesamt gute Luftqualitäten festgestellt wurden, lässt darauf schliessen, dass es sich bei den Komfortlüftungen um insgesamt robuste Systeme handelt.

Im Hinblick auf die wachsende Verbreitung der Komfortlüftungssysteme muss der Planung sowie der Systemkonzeption in Bezug auf Inspektions- und Reinigungsaspekten unbedingt mehr Beachtung geschenkt werden um die Qualität der Anlagen für die Zukunft noch zu verbessern und die Hygiene langfristig sicherzustellen.

1. Einführung

In diesem zweiten Bericht im Rahmen des Untersuchungsprojektes "Gesundheitliche und ökologische Aspekte der Komfortlüftung" werden die Ergebnisse einer mehrteiligen messtechnischen Untersuchung der hygienischen/ gesundheitlichen Situation in Komfortlüftungen neuerer Wohnbauten dokumentiert.

1.1. Hintergrund dieser Untersuchung

Dichte Gebäudehüllen werden heute grundsätzlich in den Baunormen (z.B. SIA 180) verlangt und sind eine wichtige Voraussetzung für energiesparendes Bauen aber auch für komfortables Wohnen. Der notwendige Luftaustausch muss durch spezielle Massnahmen sichergestellt werden. Bei natürlich gelüfteten Gebäuden erfolgt dies durch manuelle oder automatisch bediente Fensterflügel, in neueren Wohnbauten zunehmend auch durch sogenannte Komfortlüftungsanlagen. Darunter sind einfache, mechanische Lüftungsanlagen mit Zu- und Abluft sowie Wärmehückgewinn zu verstehen, welche in Wohnräumen den hygienisch notwendigen minimalen Luftaustausch sicherstellen. Die Aussenluft wird dabei gefiltert und in der Regel in einem einfachen Luft-Luft-Wärmetauscher durch die Abluftwärme vorgewärmt und jedem Zimmer durch ein Leitungssystem zugeführt. Ein aktives Aufheizen (oder Kühlen) der Luft mit Fremdenergie entfällt. Befeuchtungseinrichtungen existieren ebenfalls nicht.

Die Haupt-Vorteile, welche den Komfortlüftungen zugesagt werden, sind:

- Kontinuierlicher Luftaustausch in allen Räumen einer Wohnung ohne weiteres Dazutun der Bewohner/-innen
- Schutz vor Aussenlärm, Pollen und Schmutz
- Namhafte Energieeinsparungen

Diese und andere Argumente führten in den letzten Jahren zu einer starken Zunahme der mit Komfortlüftung ausgerüsteten Wohnungen. Gemäss einer Studie der HTA Luzern werden bis im Jahr 2010 rund 320'000 Wohnungen (ca. 10%) mit einer solchen Lüftungseinrichtung versehen sein. Das exponentielle Wachstum der MINERGIE-Bauten der letzten Jahre lässt ein zusätzliches starkes Wachstum dieser Systeme prognostizieren, denn alle MINERGIE-Wohnbauten sind mit Komfortlüftungen zu versehen.

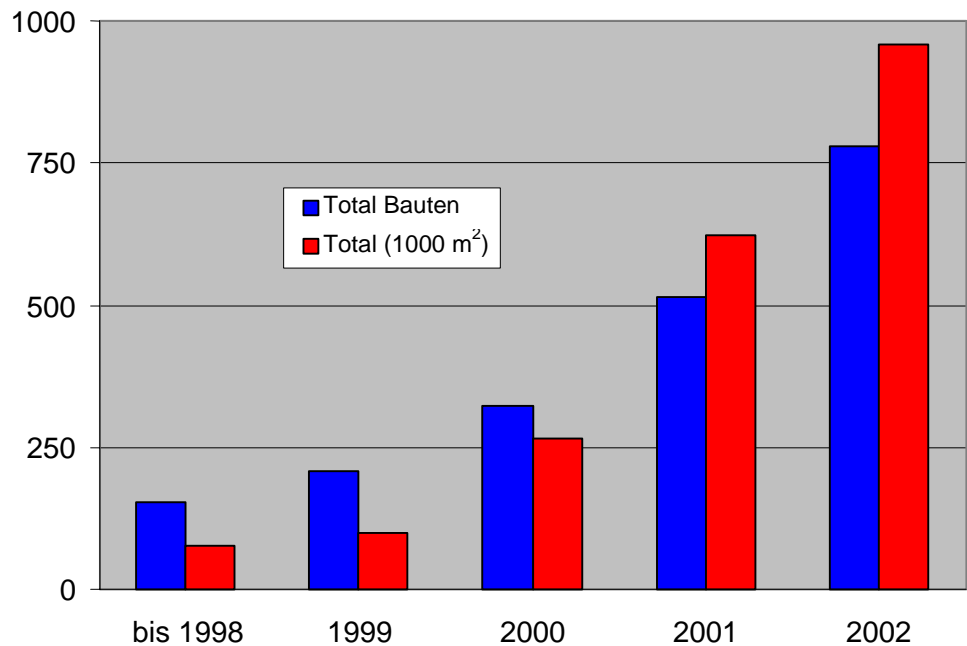


Abb. 1-1 Die Entwicklung der MINERGIE-Bauten während der letzten Jahre (Quelle: AWEL Zürich)

Ein hygienisch einwandfreies Innenraumklima wird dank solchen Lüftungsanlagen versprochen und erwartet. In der Öffentlichkeit werden immer wieder Stimmen hörbar, welche fragen, ob denn solche Anlagen nicht selbst ein Hygienierisiko darstellen. Unter ökologischen Gesichtspunkten wird gefragt, ob die zusätzlichen ökologischen Belastungen dieser mechanischen Systeme und der Luftleitungen die Vorteile der Energieeinsparungen rechtfertigen.

Gesicherte Daten zu den ökologischen und gesundheitlichen Auswirkungen von mechanischen Wohnungslüftungen bestehen zur Zeit kaum. Es ist sowohl auf Planer- als auch auf der Betreiber- und Benutzerseite unklar, welche Verhaltensweisen die Hygiene und die Ökologie solcher Anlagen positiv und welche sie negativ beeinflussen. Dieses Manko zu beheben war der Anstoss zu diesem Untersuchungsprojekt.

Unter der Initiative des Ingenieur- und Planungsbüros Basler & Hofmann wurde das Projekt „Gesundheitliche Aspekte der Komfortlüftungen im Wohnbereich“ Ende 2000 gestartet.

Ziel des Gesamtprojektes

Es ist das Ziel des Gesamtprojektes, die ökologischen und gesundheitlichen Auswirkungen von verschiedenen mechanischen Wohnungslüftungen zu erfassen und zu bewerten und Optimierungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Die Untersuchungen der ökologischen Aspekte werden frühestens Ende 2003 abgeschlossen sein. Der vorliegende Bericht bezieht sich auf die gesundheitlichen Aspekte.

Dabei liegt der Schwerpunkt auf den Luftverteilsystemen (Leitungssysteme). Anhand der Praxisuntersuchungen an vier ausgewählten Objekten und Bewertungen der Resultate sollen dem Planer, Systemanbieter und Bauherren konkrete Handlungsanweisungen zur Planung und Beschaffung von gesundheitlich sinnvollen mechanischen Wohnungslüftungsanlagen gegeben werden.

Am Teil gesundheitliche Aspekte beteiligten sich folgende Firmen und Institutionen:

- Bundesamt für Gesundheit, Abt. Chemikalien
- Bundesamt für Wohnungswesen
- Umwelt- und Gesundheitsschutz Zürich
- SUVA
- Helios Ventilatoren AG
- MaCoSy AG (heute: Zehnder Comfosystems AG)
- Gebrüder Tobler AG
- SM-Heag AG
- Visionair AG
- CompetAir GmbH
- Basler & Hofmann Ingenieure und Planer AG
- Clima Suisse (heute: Suissetec)

Diese Institutionen und Firmen stellten auch die Finanzierung der Untersuchungen sicher, wobei die Abteilung Chemikalien des Bundesamtes für Gesundheit die Federführung für die Projektbegleitung übernahm. Die Untersuchungen wurden primär durch die SUVA und Basler & Hofmann getätigt. Namhafte Wissensbeiträge wurden zudem von der SM-Heag beigesteuert.

1.2. Bezug zu anderen Untersuchungen und Forschungsarbeiten

Wie dem Zwischenbericht vom Juli 2001 zu entnehmen ist, wurden im Bereich Hygiene und Gesundheit bereits viele wissenschaftliche Arbeiten durchgeführt. Die allermeisten Arbeiten beziehen sich aber auf Lüftungen im Dienstleistungsbereich oder gewerblichen Umfeld. Verbindliche Richtlinien für die Hygiene von Komfortlüftungen in Wohnbauten fehlen bis heute weitgehend.

Bei der Durchsicht der existierenden Arbeiten im Dienstleistungsbereich stellt sich die Frage, inwieweit die Ergebnisse und Folgerungen auch auf die Anwendung "Komfortlüftung in Wohnbauten" zu übertragen sind. Sind beispielsweise die strengen Richtlinien gemäss VDI 6022 ("Hygienische Anforderungen an raumlufttechnische Anlagen von Büro- und Versammlungsräumen") (VDI 1998) für Wohnungslüftungen anwendbar und zweckmässig? Gemäss VDI 6022 muss z.B. der Aussenluftansaug mindestens 3 m über Terrain liegen und für Anlagen ohne Luftbefeuchtung wird eine Hygieneinspektion durch entsprechend qualifiziertes Fachpersonal im Abstand von 3 Jahren festgehalten. Zudem wird der Einsatz von zwei Filterstufen empfohlen: in der ersten Stufe eine Filtergüte von mindestens F5 (EU5) und in der zweiten Stufe mindestens F7 (EU7). Dies sind nur einige konkrete Massnahmen, welche bis heute im Bereich der Wohnungslüftungen kaum eingehalten werden.

Im schweizerischen Kontext wird immer wieder Bezug auf Artikel 17 der Verordnung 3 zum Arbeitsgesetz (ArGV 3, Art.17) genommen. Neben Hinweisen zur

sorgfältigen Platzierung der Aussenluftansaugstelle (in genügenden Abständen zur Schadstoffquellen) wird darin unter anderem festgehalten:

- Ablagerungen und Verunreinigungen, die zu einer unmittelbaren Gesundheitsgefährdung der Arbeitnehmer durch Verschmutzung der Raumluft führen können, müssen rasch beseitigt werden.
- Lüftungskanäle müssen mit gut zugänglichen Kontroll- und Reinigungsöffnungen sowie allenfalls mit Spülwasseranschlüssen und -ableitungen ausgestattet sein.

Diese beiden Absätze aus Artikel 17 der ArGV 3 haben sicher auch für Wohnungen eine Bewandtnis und sollten deshalb unbedingt befolgt werden.

Eine grundsätzliche Schwierigkeit, welcher alle bisherigen Arbeiten zur Hygieneuntersuchung begegneten, ist das Fehlen eines adäquaten Messsystems für die Raumluftqualität. Die Einführung der Messeinheit Dezipol für die wahrgenommene Luftqualität (perceived air quality, PAQ) und der Einheit olf für die Quellenstärke einer geruchlichen Luftverunreinigung durch Fanger (1988) Ende der Achtziger Jahre brachte die Forschung ein gutes Stück vorwärts. Unter anderem wurde klar bestätigt, dass Menschen/Benutzer nicht die alleinigen Quellen für Luftverunreinigungen sind, die zu einer Verschlechterung der empfundenen Raumluftqualität führen (rein geruchliche Betrachtung!).

Es besteht kein einfacher Zusammenhang zwischen der empfundenen Raumluftqualität (PAQ) und den effektiv in der Luft messbaren Luftschadstoffkonzentrationen.

In der vorliegenden Untersuchung wurden im Gegensatz zu den oben erwähnten Studien Messungen von biologischen und chemischen Luftqualitätsparametern direkt innerhalb des Lüftungssystems vorgenommen. Damit sind die Quellen für Luftverunreinigungen auf das Lüftungssystem und die Aussenluft beschränkt.

Wird die Betrachtung auf die Lüftungssysteme beschränkt, so lassen sich frühere Untersuchungen etwa wie folgt zusammenfassen: Die grössten Quellen von Verunreinigungen sind in der Regel die Filter und Befeuchter (Peijetersen et al. 2000; Finke und Fitzner, 1993) und in gewissen Fällen Rotationswärmetauscher. Bei den durch die Filter entstandenen Verunreinigungen wurde eine Konzentrationsabnahme in den nachfolgend durchströmten Lüftungskomponenten festgestellt, welche auf Adsorptionseffekte an Oberflächen und abgelagertem Staub zurückzuführen sind.

Ferner konnte beobachtet werden, dass die Verunreinigungsstärke auch mit zunehmender Luftgeschwindigkeit kaum ändert.

Interessant ist die Feststellung, dass die von einem Filter ausgehende Verunreinigung nicht so sehr eine Frage der Staubansammlung (und somit des Druckabfalls) ist, als vielmehr eine Frage des möglichen Mikrobenwachstums im Filter. Dieses wiederum ist vor allem von der vorherrschenden relativen Luftfeuchtigkeit bestimmt (Fitzner und Spiess 1998).

Auch die Untersuchungen von Möritz (1998) an 127 Filtern kommen zum Schluss, dass der Druckabfall über einem Filterwechsel nur dann ein Kriterium ist, wenn

dieser bereits nach einem Jahr für den ersten Filter bzw. nach zwei Jahren für den zweiten Filter erreicht wird, d.h. bei relativ hohen Aussenluftbelastungen. Sonst ist es die zunehmende Bildung von Endotoxinen und Gerüchen, welche die Filterlebensdauer auf 1 Jahr begrenzen.

Deshalb erstaunt die Aufnahme folgender Bestimmung in die VDI 6022 nicht: Anlagen- und regelungstechnisch muss abgesichert werden, dass die relative Luftfeuchte an den Filtern den Wert von 90 Prozent nicht überschreitet und der Durchschnittswert über drei Tage nicht höher als 80 % ist. Allgemein tendieren heute die Empfehlungen auch zur Einhaltung einer maximalen Standzeit für Filter. Im Rahmen des europäischen Projektes AIRLESS¹ wurde von maximal einem Winter gesprochen, während VDI 6022 abhängig von der Filterqualität 12 respektive 24 Monate angibt.

Filter mit hohem Abscheidgrad führen zu nachweislich kleineren Staub-Ablagerungen im nachfolgenden Luftleitungssystem (Pasanen et al. 1993). Generell werden heute höhere Filterklassen als früher eingesetzt; für die Zuluft beispielsweise mindestens F7 (EU7).

2. Ziel und Vorgehen

2.1. Problemstellung

In einem modernen Neubau (Wohnungen) erhält jedes Zimmer ca. 30 m³/h Frischluft und die Abluftleitungen saugen zwischen 90 und 150 m³/h Luft pro Wohnung via Küche und Nassräume ab. Dies bedeutet, dass in jedem Haus mit mechanischer Wohnungslüftung viele Leitungen und Maschinen (Luftleitung, Lüftungsgerät mit Filtern und Wärmerückgewinnung sowie Stellorgane) installiert sind. Während die Platzierung und Ausgestaltung der Luftdurchlässe in den Räumen recht gut untersucht ist, herrscht im Bereich der **Leitungsführung** und deren Ausgestaltung noch eine grosse Unsicherheit. Viele, teils kontroverse Anforderungen führen zu unterschiedlichen Lösungen. Entsprechend gibt es auf dem Markt viele verschiedene Einzelkomponenten und noch wenige gute Gesamtsysteme, welche den zahlreichen Anforderungen - insbesondere der Hygiene – gerecht werden.

Da bezüglich hygienischen und ökologischen Gesichtspunkten keine klaren Aussagen bekannt sind, werden diese Kriterien bis heute zu wenig beachtet. Solche Kriterien stehen überdies in einem Spannungsfeld mit vielen weiteren Aspekten wie Kosten, Akustik, Fertigungstechnik, Montagetechnik u.s.w.

Folgende Kriterien sind bei der Luftführung in einer Wohnung von Belang:

- Art der Leitungsführung (sternförmig oder verzweigtes System)
- Strömungswiderstand (Druckverlust)
- Form der Querschnitte (rund, rechteckig, oval, ...)
- Material (Metall, PE, funktionale Werkstoffe, ...)
- Luftleitungsdurchmesser

¹ Detailliertere Angaben zum Projekt AIRLESS finden sich im Anhang 1

- Schall- und Wärmedämmung
- Auslassgestaltung (Form, Drosselmöglichkeit, Wartung)
- Verteilergestaltung (Drosselmöglichkeit, Telefoneschalldämmung, Druckabfall)
- Luftdichtigkeit
- Reinigungsmöglichkeit

2.2. Ziel des Teil-Projektes „Gesundheitliche Aspekte – Phase 2“

Es ist das Ziel der Phase 2 (des Teils „Gesundheit“), Zustände von gesundheitlich relevanten Parametern in heute gängigen Komfortlüftungssystemen an realisierten Anlagen zu erfassen und Vorschläge für langfristig hygienisch einwandfreie Lüftungssysteme in Wohnungen festzuhalten.

Zusammen mit den Ergebnissen zum Teil „ökologische Aspekte“ sollen damit Planern, Installateuren, Systemanbietern und Bauherrn konkrete Empfehlungen zur Planung, Beschaffung und Realisierung von ökologisch und gesundheitlich dauerhaft guten Komfortlüftungen gegeben werden.

2.3. Vorgehen

Die gesundheitlichen Aspekte wurden anhand von Messungen physikalischer, biologischer und chemischer Parameter in vier Lüftungssystemen während drei verschiedenen Jahreszeiten untersucht. Alle Messungen erfolgten in bewohnten Objekten, welche bereits mehrere Jahre in Betrieb standen. In Zentrum der Betrachtung stand die Zuluft. Entlang dem Weg von der Aussenluft bis zum Abluftansaug in der Nasszelle einer Wohnung wurden an 5 bis 6 Messstellen die obengenannten Parameter bestimmt. Dadurch lässt sich die Veränderung einzelner Parameter sehr anschaulich dokumentieren. Entsprechend beruhen auch die Darstellung der Messergebnisse auf diesem „Luftweg“ von Aussen bis in die Räume der Wohnung. Insbesondere lässt sich so unterscheiden, welche Luftveränderungen primär dem Lüftungssystem und welche anderen Einflüssen wie Benutzer/-innen Baumaterialien u.s.w. zuzuordnen sind. Innerhalb des Lüftungssystems werden zudem wichtige Abschnitte wie Lufterdregister, Lüftungsgerät mit Filtern und Zuluftverteilungen unterschieden.

2.4. Abgrenzung

Die Bewertung der Luftqualität erfolgt in dieser Arbeit aufgrund von einzelnen physikalischen, chemischen und biologischen Parametern. Dabei wird bewusst in Kauf genommen, dass keine Gesamtbewertung der sensorischen Luftqualität (Gerüche) möglich ist, wie dies beispielsweise über die Messmethodik nach Fanger mit der Einheit Dezipol möglich wäre. Es soll die Veränderung der Luft entlang des Luftwegs bezüglich relevanter biologischer und chemischer Schadstoffparameter aufgezeigt werden. Selbstredend können auch keine Vergleiche zu natürlich gelüfteten Räumen gezogen werden.

Diese Arbeit geht auch nicht weiter auf Aspekte wie Kosten, Akustik, Fertigungstechnik und Montagetechnik weiter ein, obwohl den Projektbeteiligten sehr bewusst ist, welche grosse Bedeutung auch in diesen Themen liegt. Dabei sei erwähnt, dass

gerade akustische Probleme (im Sinne von zu hohen Gerätegeräuschen) derzeit wohl die häufigsten Ursachen von Beanstandungen bei Neuanlagen sind. Fragen bezüglich der Auswirkungen der Lüftungsanlage auf den Ionengehalt der Luft wurden nicht untersucht, da die Relevanz der Luftionen im Hinblick auf ihre gesundheitlichen Effekte umstritten ist. Es ist nicht klar, welche die relevanten Messgrößen sind und wie die entsprechenden Messresultate zu interpretieren wären (Charry, 1984).

3. Verbreitete Systeme der Komfortlüftungsanlagen

3.1. Charakterisierung

Wird versucht, eine Charakterisierung von Komfortlüftungssystemen vorzunehmen, so muss zuerst erläutert werden, was unter solchen Systemen zu verstehen ist.

Unter einem Komfortlüftungssystem für Wohnungen sind alle Leitungen, Geräte und übrigen Komponenten zusammengefasst, welche für eine automatisierte Zu- und Abfuhr von Luft für eine Wohnung nötig sind und welche untereinander optimal abgestimmt sind. Die dabei umgesetzten Luftmengen entsprechen den bei normalem Wohnen hygienisch notwendigen Luftmengen (12 – 15 m³/h Person).

Bis heute werden Wohnungen mit mechanischen Lüftungsanlagen ausgerüstet, bei welchen kaum von einem System gesprochen werden kann, da irgendwelche Geräte mit irgendwelchen Rohren, Verzweigern, Bogenstücken, Klappen und Durchlässen verbunden werden. Entsprechend sind die Verteilleitungen oft undicht, oft mit ins Rohr/Kanal vorstehenden Schrauben und oft für Reinigungssysteme unzugänglich montiert.

Nicht nur aus hygienischen Gründen ist es daher notwendig, dass Luftverteilsysteme insbesondere im Wohnungsbau und insbesondere für die oft langen Zuluftleitungen als Ganzes und in sich optimiert auf den Markt kommen. Dies ist deshalb wichtig, weil heute bei den meisten Bauprojekten ein derart grosser Preisdruck herrscht, dass keine seriöse Planung mehr stattfindet. Insbesondere für die Zuluftverteilung auf die einzelnen Zimmer innerhalb einer Wohneinheit, sollten aufgrund der hohen (hygienischen) Anforderungen optimierte Systemlösungen eingesetzt werden.

Im Bereich von grossen Einfamilienhäusern und der Mehrfamilienhäuser ist eine detaillierte Planung nach wie vor unabdingbar, da keine standardisierten Lösungen für alle Details erhältlich sein werden.

Bereits im Zwischenbericht vom Juli 2001 (*10. Juli 2001, B 3050.00-01*) wurden die wichtigsten auf dem Schweizer Markt erhältlichen Systeme erläutert. Hier sollen nun für besonders wichtige Schnittstellen und beschränkt auf das Teilsystem II der Zuluftverteilung die Lösungen der einzelnen Systeme miteinander verglichen werden.

Für die Systeme

- Comfosystem
- Ecomcomfort/Revitair
- Helios
- Pluggit
- Schrag
- SM-Heag

werden für die Zuluftverteilungen folgende wichtigen Abschnitte charakterisiert:

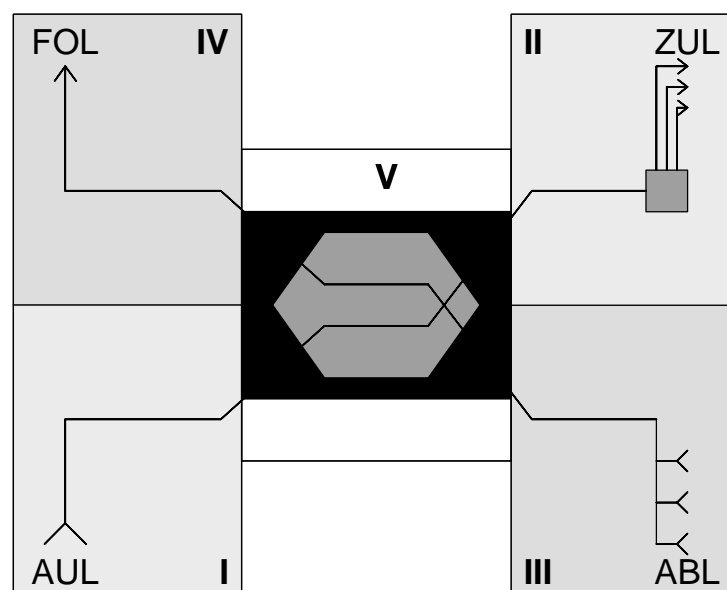


Abb. 3-1: Aufteilung der Teilsysteme: I Aussenluft (evtl. mit Lufterdregister), II Zuluftverteilung, III Abluft, IV Fortluft, V Lüftungsgerät

- Übergang von Sammelleitung
- Rohre und Verbindungstechnik generell
- Übergang auf Raumdurchlass

3.2. Beurteilungskriterien

Da gemäss VDI 6022 die Luft in einer Zuluftleitung einer Lüftung wie ein Lebensmittel zu betrachten ist, legen wir das Hauptaugenmerk bei dieser qualitativen Beurteilung auf die Hygiene („Anfälligkeit für Verschmutzung“, „Inspektions-/ Reinigungsmöglichkeit“). Die Dichtigkeit und der Druckabfall haben für die Anlageneffizienz und den Energieverbrauch, aber auch für die Hygiene (Einsaugen von Verunreinigungen) eine wesentliche Bedeutung.

3.2.1 Das System „Comfosystem“ (Zehnder Comfosystems AG)

Ein Gesamtsystem für die Wohnraumbelüftung mit Luftleitungen aus flexiblen Kunststoffrohren mit unterschiedlichen Durchmessern, Lüftungsgeräten und sämt-

lichem Zubehör. Die flexiblen PE-Rohre (aussen gerippt, innen glatt) werden auch für Erdregister eingesetzt.

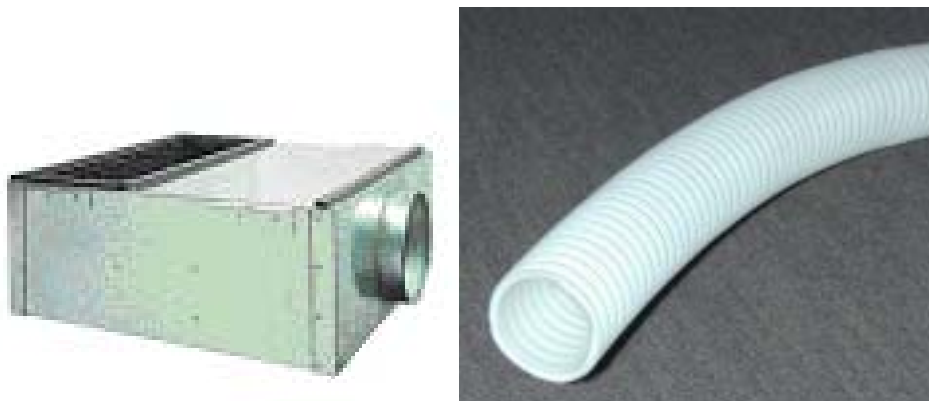


Abb. 3-2 Verteiler und Zuluftleitung

		Beurteilungskriterien			
		Anfälligkeit für Verschmutzung	Inspektions-/ Reinigungsmöglichkeit	Dichtigkeit	Druckabfall
Leitungsabschnitt	Übergang von Sammelleitung auf Rohre (Verteiler)	Metallkasten mit gewissen Totzonen	Gut; öffentbarer oder demontierbarer Verteiler	Kunststoff in Metall gesteckt; mit Gummiring sicher dicht	Durchschnittlich, da strömungstechnisch wenig optimiert
	Rohre und Verbindungstechnik generell	klein, da Leitungen innen weitgehend glattwandig	Runde Form gut; keine Formstücke mit engen Radien	Dicht, da in der Regel in einem Stück verlegt	Klein, falls genügend grosse Durchmesser ($v_{Luft} < 3 \text{ m/s}$)
	Übergang auf Raumdurchlass	Minimal, kaum Totzonen	Gut, jeder Durchlass ist offen- und einsehbar	Kunststoff in Metall; mit Gummiring sicher dicht	Durchschnittlich, abhängig vom Abdeckgitter

Tab. 3-1: Beurteilung wichtiger Abschnitte im Zuluftsystem für das Komfortlüftungssystem „Comfosystem“

3.2.2 Das System „Revitair“ (Bartholet-Nilan AG)

Es handelt sich um ein Gesamtsystem für die Wohnraumbelüftung mit Luftleitungen aus halbflexiblen Kunststoffrohren (PE) mit immer demselben (kleinen) Durchmesser sowie Luftverteiler und Durchlässen. (Das praktisch identische System EcoConfort wird von der Firma EcoConfort SA angeboten.)



Abb. 3-3 Zuluflleitungen (Durchmesser 42/47 mm) und Durchlass

		Beurteilungskriterien			
		Anfälligkeit für Verschmutzung	Inspektions-/ Reinigungsmöglichkeit	Dichtigkeit	Druckabfall
Leitungsabschnitt	Übergang von Sammelleitung auf Rohre (Verteiler)	Metallkasten mit erheblichen Totzonen	Mangelhaft, wenn nicht zugänglich einbetoniert (optionale Revisionsöffnung)	Kunststoff in Kunststoff gesteckt; ohne Abklebung dicht	Durchschnittlich, da strömungstechnisch wenig optimiert
	Rohre und Verbindungstechnik generell	klein, da Leitungen innen glattwandig und recht steif	Gut; runde Form keine Formstücke keine engen Radien	Dicht, da in der Regel in einem Stück verlegt	Durchschnittlich, bei Einhaltung der vorgeschlagenen kleinen Luftmenge
	Übergang auf Raumdurchlass	Erheblich, da Totzonen und verwinkelt	Wanddurchlass mangelhaft, da schlecht öffnen- und einsehbar	Kunststoff in Kunststoff gesteckt; ohne Abklebung dicht	Erheblich, da verwinkelt und wenig strömungsgünstig

Tab. 3-2: Beurteilung wichtiger Abschnitte im Zuluftsystem für das Komfortlüftungssystem „Revitair/EcoConfort“

3.2.3 Das System „Helios“ (Helios Ventilatoren AG)

Es handelt sich um ein Gesamtsystem für die Wohnraumbelüftung mit Luftleitungen aus flexiblen Kunststoffrohren mit unterschiedlichen Durchmessern, Lüftungsgeräten und sämtlichem Zubehör. Die flexiblen PE-Rohre (ausen gerippt, innen glatt) werden auch für Erdregister eingesetzt. Auch Reinigungssysteme sind im Angebot. Die Reinigung erfolgt mittels Putzrute mit einer Länge von 12 m.



Abb. 3-4 Verteiler mit offenem Revisionsdeckel und Durchlass im Rohbeton

		Beurteilungskriterien			
		Anfälligkeit für Verschmutzung	Inspektions-/ Reinigungsmöglichkeit	Dichtigkeit	Druckabfall
Leitungsabschnitt	Übergang von Sammelleitung auf Rohre (Verteiler)	Metallkasten mit gewissen Totzonen	Gut, jeder Raumabgang einzeln und auch später zugänglich	Kunststoff in Metall gesteckt; mit Gummiring sicher dicht	Durchschnittlich, da strömungstechnisch wenig optimiert
	Rohre und Verbindungstechnik generell	klein, da Leitungen innen weitgehend glattwandig	Runde Form gut; keine Formstücke mit engen Radien	Dicht, da in der Regel in einem Stück verlegt	Klein, falls genügend grosse Durchmesser ($v_{Luft} < 3 \text{ m/s}$)
	Übergang auf Raumdurchlass	Minimal, kaum Totzonen	Gut, jeder Durchlass ist offen- und einsehbar	Kunststoff in Metall; mit Gummiring sicher dicht	Durchschnittlich, abhängig vom Abdeckgitter

Tab. 3-3: Beurteilung wichtiger Abschnitte im Zuluftsystem für das Komfortlüftungssystem „Helios“

3.2.4 Das System „Pluggit“ (Gebr. Tobler AG)

Beim Pluggit handelt es sich um ein Komplettsystem für die Wohnraumbelüftung mit Luftleitungen aus flexiblen Kunststoffrohren mit ovalem Querschnitt. Die Wanddurchlässe ermöglichen die Integration einer Elektro-/Kommunikationsversorgung.

Der Verteiler ist in einem Verteilkasten übersichtlich angeordnet und jederzeit zugänglich. Zudem besteht für jede Raumverteilung eine einfache Drosselmöglichkeit.

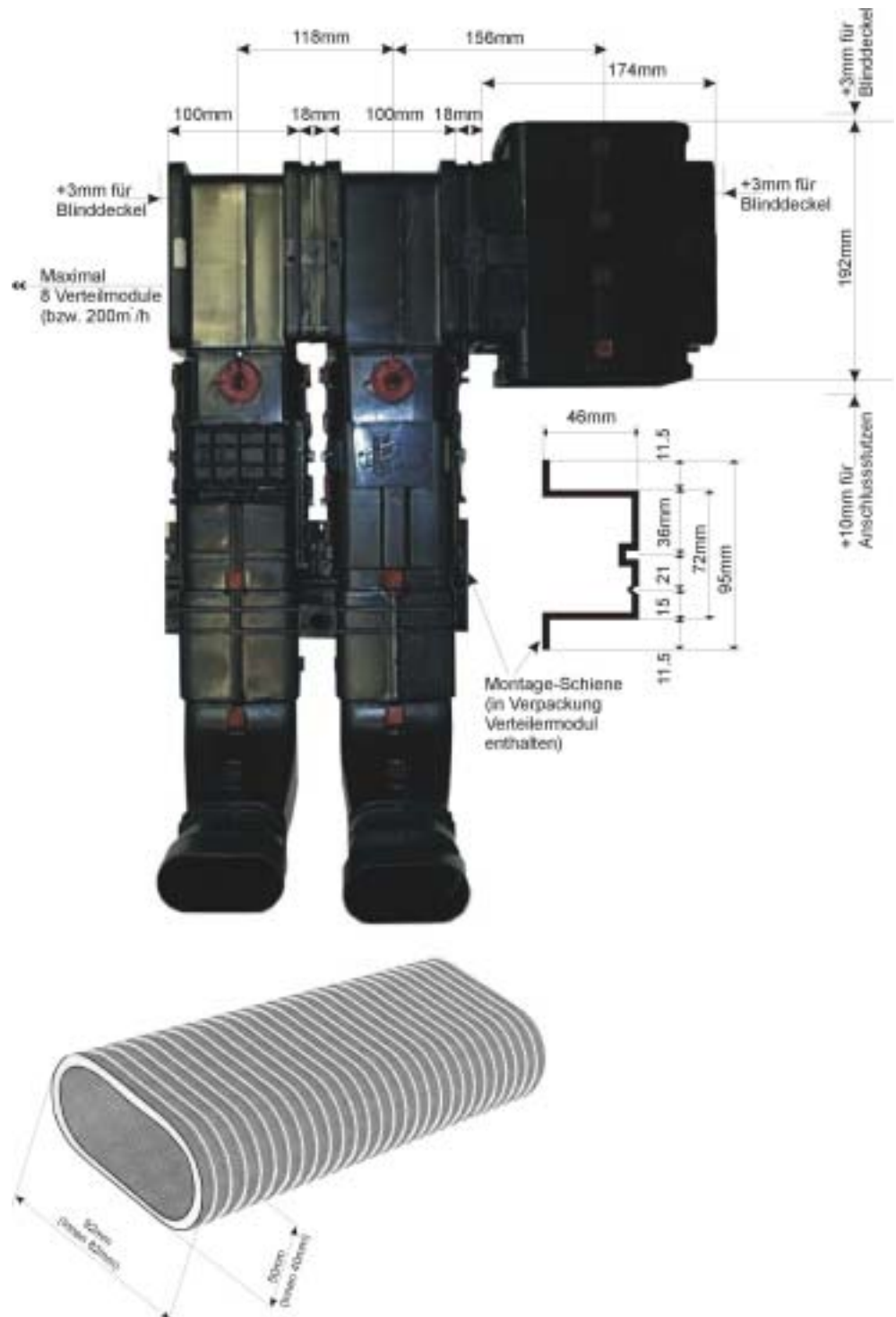


Abb. 3-5 Verteiler und Zulufleitung

		Beurteilungskriterien			
		Anfälligkeit für Verschmutzung	Inspektions-/ Reinigungsmöglichkeit	Dichtigkeit	Druckabfall
Leitungsabschnitt	Übergang von Sammelleitung auf Rohre (Verteiler)	Minimal, kaum Totzonen	Gut, jeder Raumabgang einzeln und auch später zugänglich	Kunststoff gesteckt; mit Abklebung sicher dicht	Durchschnittlich, da strömungstechnisch wenig optimiert
	Rohre und Verbindungstechnik generell	Eher gross, da Leitungen innen gerippt	Ovale Form gut; Rippen für Reinigung ungeeignet	Dicht, da in der Regel in einem Stück verlegt	Erheblich, wegen Rippen
	Übergang auf Raumdurchlass	Minimal, kaum Totzonen	Gut, jeder Durchlass ist offen- und einsehbar	Kunststoff gesteckt; mit Abklebung sicher dicht	Durchschnittlich, da strömungstechnisch wenig optimiert

Tab. 3-4: Beurteilung wichtiger Abschnitte im Zuluftsystem für das Komfortlüftungssystem „Pluggit“

3.2.5 Das System „Schrag“ (Visionair/Vescal AG)

Ein bereits etwa dreissigjähriges Komplettsystem für die Wohnraumbelüftung (und Luftheizung) mit Luftleitungen aus verzinktem Blech mit rechteckigem Querschnitt und Bodendurchlässen. Die Zuluftleitungen werden in der Regel im Unterlagsboden verlegt. Am Verteiler besteht für jede Raumzuleitung eine einfache Drosselmöglichkeit (nach Einbau nur noch schwer zugänglich).



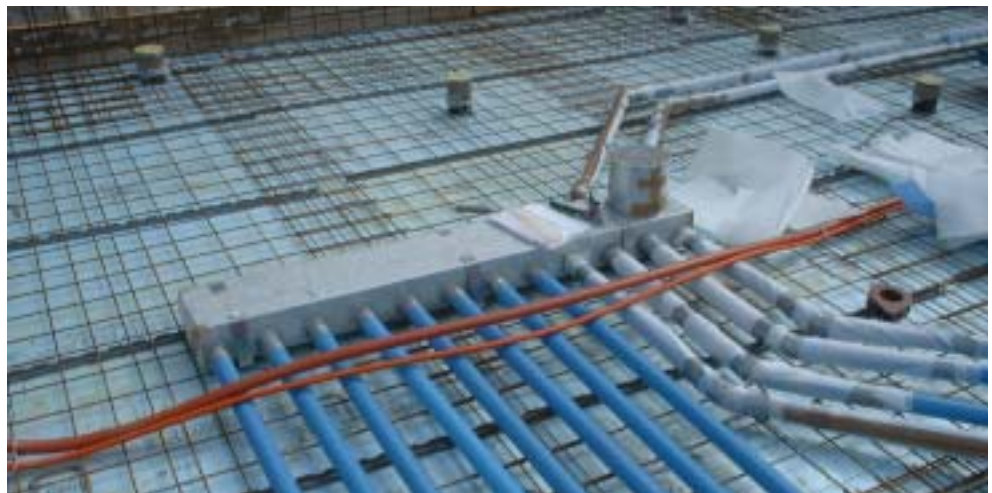
Abb. 3-6 Zuluftleitung und Durchlass mit integriertem Schalldämpfer

		Beurteilungskriterien			
		Anfälligkeit für Verschmutzung	Inspektions-/ Reinigungsmöglichkeit	Dichtigkeit	Druckabfall
Leitungsabschnitt	Übergang von Sammelleitung auf Rohre (Verteiler)	Metallkasten mit gewissen Totzonen	Gut; Verteiler über Revisionsöffnung zugänglich	Blech auf Blech gesteckt und verschraubt; Abklebung dringend notwendig;	Durchschnittlich, da strömungstechnisch wenig optimiert
	Rohre und Verbindungstechnik generell	Eher gross, da Leitungen oft mit Blechschrauben verbunden werden	Rechteck-Form schwerer reinigbar; Probleme bilden in den Kanal vorstehende Schrauben	Siehe oben; Formteile undicht; viele Übergänge	Mässig, da Querschnitte grosszügig dimensioniert
	Übergang auf Raumdurchlass	Minimal, kaum Totzonen	Gut, jeder Durchlass ist offen- und einsehbar	Siehe oben; Formteile undicht	Gut; wegen Schalldämpfer etwas erhöht

Tab. 3-5: Beurteilung wichtiger Abschnitte im Zuluftsystem für das Komfortlüftungssystem „Schrag“

3.2.6 Das System „SM-Heag“ (SM-Heag AG)

Es handelt sich um ein Gesamtsystem für die Wohnraumbelüftung mit Luftleitungen aus starren Kunststoffrohren mit Formstücken und einheitlichem Durchmesser, Lüftungsgeräten und sämtlichem Zubehör. Die starren PE-Rohre werden auch für Erdregister eingesetzt. Auch Reinigungssysteme sind im Angebot.



Bildlegende siehe nächste Seite



Abb. 3-7 Verteiler und Zuluftleitungen

		Beurteilungskriterien			
		Anfälligkeit für Verschmutzung	Inspektions-/ Reinigungsmöglichkeit	Dichtigkeit	Druckabfall
Leitungsabschnitt	Übergang von Sammelleitung auf Rohre (Verteiler)	Metallkasten mit gewissen Totzonen	Gut, ein Abgang wird für Insp./Reinigung reserviert	Kunststoff in Metall gesteckt; mit Abkleben sicher dicht	Durchschnittlich, da strömungstechnisch wenig optimiert
	Rohre und Verbindungstechnik generell	klein, da Leitungen innen glattwandig	Runde Form gut; nur 45°- Bogenstücke; für Bürstpassierbar	Kunststoff in Kunststoff gesteckt; mit Abkleben sicher dicht	Relativ gross, kleiner Durchmesser und Bogenstücke
	Übergang auf Raumdurchlass	Metallkasten mit gewissen Totzonen	Gut, jeder Durchlass ist offen- und einsehbar	Kunststoff in Metall; mit Abkleben sicher dicht	Durchschnittlich, abhängig vom Abdeckgitter

Tab. 3-6: Beurteilung wichtiger Abschnitte im Zuluftsystem für das Komfortlüftungssystem „SM-Heag“

Die hier diskutierten Systeme zeigen bereits einen recht fortschrittlichen Standard gegenüber den durch Planer/Installateure selbst konfektionierten Lösungen, welche leider auch immer wieder zu sehen sind. Mit diesen Vergleichen sollen den Systemanbietern aber auch Impulse für weitere Verbesserungen vermittelt werden.

3.3. Filter und Filterqualitäten

In der folgenden Tabelle werden die im Komfortlüftungsbereich eingesetzten Filter kurz charakterisiert. Es ist wichtig hier anzumerken, dass kein Filter alle Aerosole ausscheiden kann. Die Größenordnungen für Fraktionsabscheidegrade in Abhängigkeit der Filterklassen G 1 bis F 9 nach DIN EN 779 sind in nachstehender Tabelle angegeben (Filter im unbestaubten, sauberen Zustand). Dabei ist zu beachten, dass die typischen Verbrennungsaerosole in der Aussenluft (Aerosole

ten, dass die typischen Verbrennungsaerosole in der Aussenluft (Aerosole aus Verkehr und Feuerungen) Partikelgrößen von unter 0,3 µm aufweisen.

Abscheidegrade in %							
Filter- klasse	Partikelgröße (µm)						
	0,1	0,3	0,5	1	3	5	10
G 1	-	-	-	-	0 - 5	5 - 15	40 - 50
G 2	-	-	-	0 - 5	5 - 15	15 - 35	50 - 70
G 3	-	-	0 - 5	5 - 15	15 - 35	35 - 70	70 - 85
G 4	-	0 - 5	5 - 15	15 - 35	30 - 55	60 - 90	85 - 98
F 5	0 - 10	5 - 15	15 - 30	30 - 50	70 - 90	90 - 99	> 98
F 6	5 - 15	10 - 25	20 - 40	50 - 65	85 - 95	95 - 99	> 99
F 7	25 - 35	45 - 60	60 - 75	85 - 95	> 98	> 99	> 99
F 8	35 - 45	65 - 75	80 - 90	95 - 98	> 99	> 99	> 99
F 9	45 - 60	75 - 85	90 - 95	> 98	> 99	> 99	> 99

Tab. 3-7: Filterklassen nach DIN EN 779 und deren Abscheidegrade; Diese Tabelle gibt Anhaltswerte für die verschiedenen Filterklassen. Spezifische Werte für unterschiedliche Filtertypen müssen unter Berücksichtigung der interessierenden Anströmgeschwindigkeit gemessen werden

Partikelgröße	Partikelbeispiele	Filter-Klasse	Anwendungsbeispiele
Grobstaubfilter für Partikel > 10 µm	<ul style="list-style-type: none"> Insekten Textilfaser und Haare Sand Flugasche Blütenstaub Sporen, Pollen Zementstaub 	G 1 G 2	<ul style="list-style-type: none"> Für einfache Anwendungen (z.B. als Insektenschutz in Kompaktgeräten)
		G 3 G 4	<ul style="list-style-type: none"> Vor- und Umluftfilter für Zivilschutzanlagen Abluft Farbspritzkabinen und Küchenabluft, etc. Verschmutzungsschutz für Klimageräte und Kompaktgeräte (z.B. Fensterklimageräte, Ventilatoren) Vorfilter für Filterklassen F 6 bis F 8
Feinstaubfilter für Partikel 1 ... 10 µm	<ul style="list-style-type: none"> Blütenstaub Sporen, Pollen Zementstaub Partikel, welche Flecken und Staubablagerungen verursachen Bakterien und Keime auf Wirtspartikel 	F 5	<ul style="list-style-type: none"> Außenluftfilter für Räume mit geringen Anforderungen (z.B. Werkhallen, Lagerräume, Garagen)
		F 5 F 6 F 7	<ul style="list-style-type: none"> Vor- und Umluftfiltrierung in Lüftungszentralen Endfilter in Klimaanlage für Verkaufsräume, Warenhäuser, Büros und gewisse Produktionsräume Vorfilter für Filterklassen F 9 bis H 11
	<ul style="list-style-type: none"> Ölrauch und agglomerierter Ruß Tabakrauch Metalloxidrauch 	F 7 F 8 F 9	<ul style="list-style-type: none"> Endfilter in Klimaanlage für Büros, Produktionsräume, Schaltzentralen, Krankenhäuser, EDV-Zentralen Vorfilter für Filterklasse H 11 bis H 13 und Aktivkohle
Schwebstofffilter für Partikel < 1 µm	<ul style="list-style-type: none"> Keime, Bakterien, Viren Tabakrauch Metalloxidrauch 	H 10 H 11 H 12	<ul style="list-style-type: none"> Endfilter für Räume hoher und höchster Anforderungen (z.B. für Labors, für Produktionsräume in Nahrungsmittel-, Pharma-, feinmechanischer-, optischer- und elektronischer Industrie sowie für die Medizin)
		H 11	<ul style="list-style-type: none"> Endfilter für reine Räume der Klassen 100 000 bzw. 10 000
	<ul style="list-style-type: none"> Öldunst und Ruß im Entstehungszustand Radioaktive Schwebstoffe 	H 12 H 13	<ul style="list-style-type: none"> Endfilter für reine Räume der Klassen 10 000 bzw. 100 Endfilter in Zivilschutzanlagen Abluftfilter in kerntechnischen Anlagen
	<ul style="list-style-type: none"> Aerosole 	H 14 U 15 U 16	<ul style="list-style-type: none"> Endfilter für reine Räume der Klassen 10 bzw. 1

Tab. 3-8: Filter und ihre Filterqualitäten (Quelle: EURO-Filter GmbH)

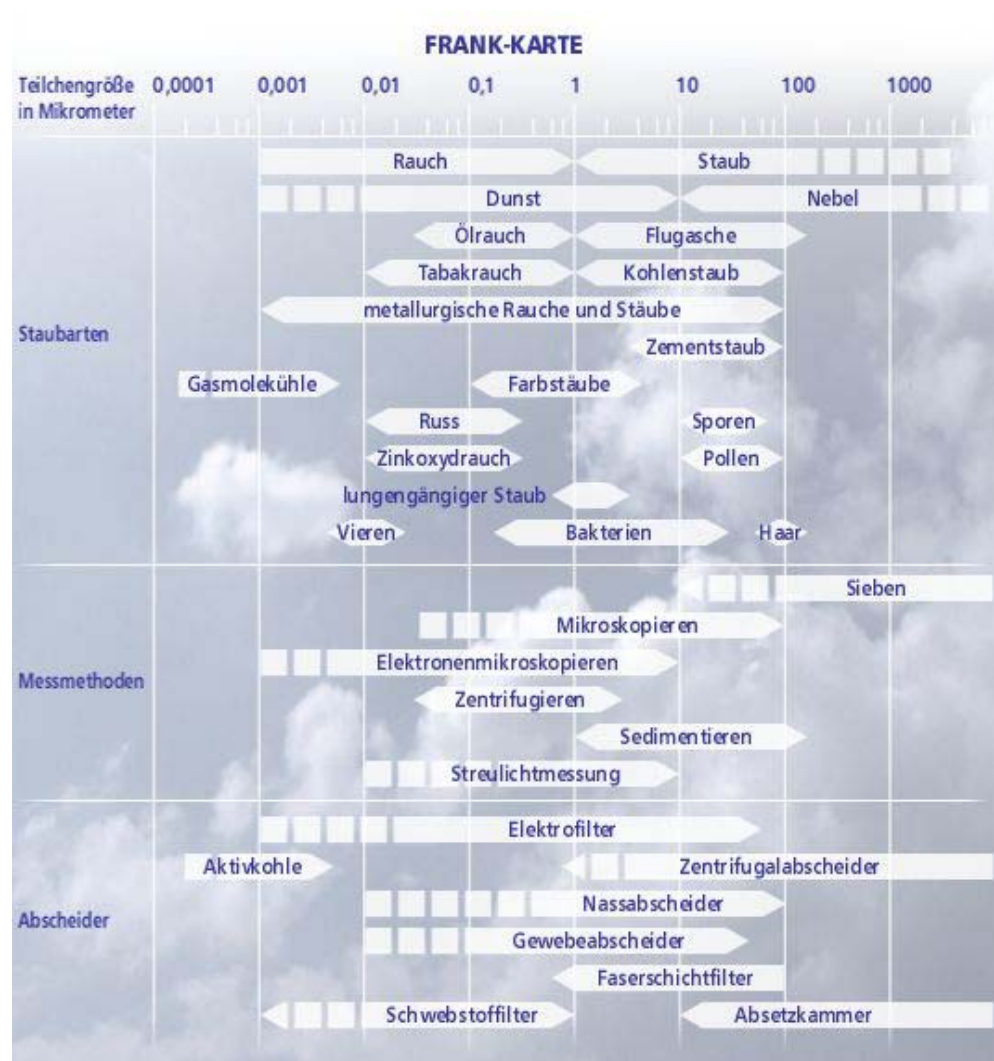


Abb. 3-8 Typische Teilchengrößen (Quelle: EURO-Filter GmbH)

4. Reinigung von Leitungssystemen

Die Grundlagen für die Erarbeitung der folgenden Ausführungen über die Reinigung von Leitungssystemen sind aus dem Bericht „Reinigung von Lüftungsanlagen“ von SM-Heag und Triventek A/S entnommen.

4.1. Allgemein

Bei der Reinigung von Lüftungsanlagen inklusive des gesamten Leitungssystems unterscheidet man zwischen einer hygienetechnischen Grundreinigung nach Abschluss aller Bauarbeiten und einer periodischen Inspektion mit Reinigung während des Betriebs zur Gewährleistung der hygienischen Anforderungen.

Der Gehalt der Zuluft an Schadstoffen wie Stäuben, Bakterien, Pilzen und weiteren biologischen Inhaltsstoffen darf den der Außenluft vor Ort in keiner Kategorie übersteigen.

Die unten stehende Tabelle soll einen Überblick über die wichtigsten deutschsprachigen Normen und Richtlinien zur Instandhaltung von Lüftungsanlagen geben:

Norm / Richtlinie	Inhalt
SWKI 96-4	Richtlinie für die Verwendung von Filtern in lufttechnischen Anlagen
SWKI 95-2	Instandhaltung Lüftungstechnischer Anlagen
SIA 382.304	Lüftung von Gebäuden – Luftleitungen – Anforderungen an die Luftleitungsbauteile zur Wartung von Luftleitungssystemen
VDI 6022	Hygienische Anforderungen an die raumluftechnischen Anlagen
DIN 1946 T2	Raumluftechnik; gesundheitstechnische Anforderungen

Tab. 4-1: Normen / Richtlinien zum Unterhalt von Lüftungsanlagen

4.2. Notwendigkeit einer Reinigung

Bei unzureichender Wartung und Reinigung von raumluftechnischen Anlagen können sich Mikroorganismen in Anlagenteilen in Wasser und, bei genügender Feuchtigkeit, auf Staubablagerungen und Dichtungsmaterialien vermehren. Auch mit Filtern einer sehr guten Filterqualität können nicht alle Aerosole ausgeschieden werden, was eine Reinigung notwendig macht.

Lebende und tote Mikroorganismen (Schimmelpilze, Bakterien) sowie ihre Stoffwechsel- und Abbauprodukte können dann durch den Luftstrom in den Lüftungsanlagen mitgerissen und in den zu belüfteten Räumen verteilt werden. So können bei den Bewohner/innen gesundheitliche Beschwerden wie Geruchsbelästigungen, Schleimhautreizungen und Atemwegsbeschwerden bzw. allergische Reaktionen auftreten.

Daher sollten raumluftechnische Anlagen in allen luftführenden Bereichen so gestaltet, betrieben und instand gehalten werden, dass eine zusätzliche Belastung durch anorganische und organische Verunreinigungen sicher vermieden und der Luftcharakter als geruchsneutral empfunden wird. Weil das verfügbare Wasser bzw. die Feuchtigkeit auf Oberflächen die Schlüsselgrösse für das Wachstum von Mikroorganismen ist, müssen feuchte Stellen oder gar Wasseransammlungen in den Anlagen vermieden werden. Weiter sind, um diese Anforderungen zu erfüllen, in einem sinnvollen Intervall Hygieneinspektionen (visuelle Aufnahme mit einer allfälligen Durchführung von mikrobiologischen Analysen) durchzuführen. Bei Beanstandungen durch erhöhte Kontaminationen von Feinstaub, Schimmelpilzen, Bakterien, Endotoxinen und anderen, muss eine umfangreiche Reinigung mit anschliessender Desinfektion vorgenommen werden.

4.3. Inspektion, Reinigung und Desinfektion

Zur Gewährleistung der Hygieneanforderung lohnt sich die Erarbeitung und Umsetzung eines technischen und hygienischen Wartungs-, Instandhaltungs- und Reinigungskonzeptes mit festgelegten Zeitintervallen. In der VDI-Richtlinie 6022 (Juli 1998) wird empfohlen, für Anlagen ohne Befeuchtung (Büro- und Versammlungsräume) ein Inspektions- und Reinigungsintervall von 3 Jahren festzulegen. Bei Anlagen mit zusätzlicher Befeuchtung ist das Intervall gemäss VDI-Richtlinie auf 2 Jahre zu reduzieren. Für Lüftungsanlagen in Wohnungen liegen zur Zeit noch keine konkrete Zeitangaben vor. Diese sind speziell bei Wohnungslüftungsanlagen anhand von Erfahrungswerten aus der Praxis noch zu definieren. Aufgrund von

möglichen technischen Mängel und Verunreinigungen in der Anlage ist es auf jeden Fall sinnvoll, in Wohnungslüftungen regelmässige Inspektionen durch eine Fachperson vorzuschreiben.

Heute sind leider noch keine einfach handhabbaren Hygiene-Check-Methoden erhältlich, die auch vertrauenswürdige Resultate liefern.

Der Reinigungseinsatz lässt sich in 4 Phasen unterteilen:

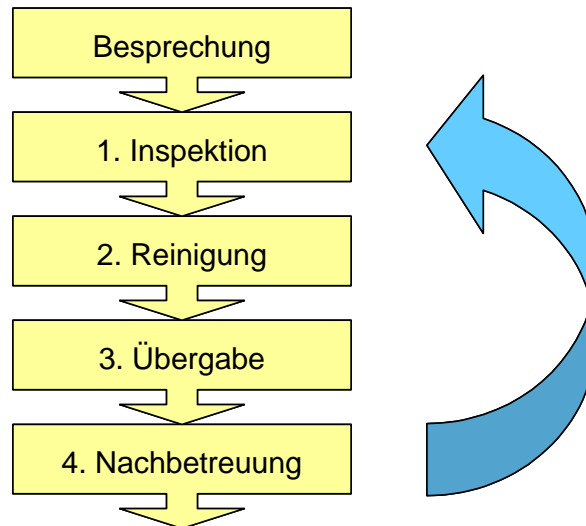


Abb. 4-1: Phasen des Reinigungseinsatzes

4.3.1 Inspektion

Die Inspektion dient zur Feststellung, wo genau und in welchem Umfang hygienische Probleme bestehen. Oft ist eine Inspektion per Augenschein nicht ausreichend, da die Kanäle häufig nicht zugänglich sind. Ein ferngesteuerter Kameraroboter stellt ein wirkungsvolles Werkzeug dar, um auch die entlegensten Anlageteile zu kontrollieren. Er hat den Vorteil, dass durch eine Videoaufzeichnung der Zustand vor und nach der Reinigung dokumentiert werden kann und als Qualitätssicherung der gesamten Reinigungsprozedur verwendet werden kann.



Abb. 4-2: Kameraroboter zur Inspektion von rechteckigen Lüftungskanälen

Von Hand geführte Inspektionswerkzeuge wie Endoskope oder einfache Einschubkameras eignen sich ebenfalls zur Gewinnung von Bildern aus dem Innern der Lüftungskanäle.



Abb. 4-3: Endoskop für die Aufnahme von runden kleinen Kanälen

Es ist wichtig, dass die Aufnahmen konsequent dokumentiert werden, damit die Resultate eindeutig den einzelnen Anlagenteilen zugewiesen werden können. Dazu eignen sich Textbemerkungen auf dem Video (Textgenerator) oder direkt auf dem Computer.

Für Räume, bei denen strenge Anforderungen bezüglich Luftqualität gestellt werden, können Proben von vorhandenem Staub und Kondensat hinsichtlich ihrer Konzentration von Bakterien, Schimmelpilzen und anderen kritischen Stoffen untersucht werden. Je nach Resultat der Inspektion wird entschieden, ob eine Reinigung angebracht ist.

4.3.2 Reinigung

Vorbereitung

Für einen Reinigungseinsatz ist eine sorgfältige Vorbereitung sehr wichtig. Dabei sind die Zugangsöffnungen für die Reinigungswerkzeuge und deren Hilfsmittel festzulegen und auf den Revisionsplänen einzutragen.



Abb. 4-4: Revisionsöffnung zur Reinigung der Kanäle

Verschiedene internationale Institutionen wie NADCA (Nationaler Verband für Luftleitungs-Reinigung, USA), HVCA (Verband der Heizungs- und Lüftungsbauer, GB) und EVHA (Europäischer Verband für hygienische Lüftung, EU) legen fest, wie viele dieser Öffnungen in einem System anzubringen sind. Wärmetauscher, Befeuchter und andere Komponenten im Innern der Lüftungsanlagen werden ausgebaut, sofern sie für die Reinigung ein Hindernis darstellen.

Schwedische Behörden legen auch spezifische Reinigungsintervalle in Abhängigkeit der Nutzung fest (Boverket, 1992).

Reinigungsmethoden

Bei der eigentlichen Reinigung der Lüftungskanäle können verschiedene Typen von Reinigungssystemen verwendet werden. Die Wahl der Ausrüstung hängt im wesentlichen von den Abmessungen der Luftkanäle, sowie dem Grad und der Art und Weise der Verschmutzung ab. In der folgenden Tabelle sind verschiedene Trockenreinigungsmethoden aufgeführt.

Reinigungsmethode	Energiequelle	Beschreibung
Luftpeitsche / Hüpfball	Druckluft (geringes Volumen)	Ein Gummischlauch oder Kunststoffball, der unter Druck die Wände der Lüftungskanäle in Bewegung versetzt (wird in der Regel in kleinen Lüftungskanälen eingesetzt)
Druckluftlanze	Druckluft (geringes Volumen)	In der Regel eine Druckluftpistole mit Auslöser, bei der Druckluft örtlich gerichtet werden kann
Luftdüsen	Druckluft (hohes Volumen)	In der Regel ein am Ende eines flexiblen Schlauchs angebrachter Kunststoff- oder Metallball. Aus kleinen Öffnungen im Ball ausströmende Druckluft treibt den Schlauch vorwärts und lässt die Düse nahe an der Innenoberfläche des Lüftungskanals entlang gleiten.
Abwischen per Hand	Manuell	Abwischen der Oberfläche mit einem zu diesem Zweck geeigneten Mittel
Abkratzen per Hand	Manuell	Entfernung starker Schmutzansammlungen durch Abkratzen mit der Hand
Bürsten per Hand	Manuell	Abbürsten der Oberfläche mit einer zu diesem Zweck geeigneten Bürste
Staubsaugen per Hand	Elektrisch / manuell	Absaugung
Mechanisches Bürsten	Elektrisch oder Druckluft	Abbürsten der Oberfläche der Lüftungskanäle mit einem mechanischen Werkzeug
Mechanisches Bürsten und Drucklufttechnik in Kombination	Druckluft / elektrisch	Abbürsten der Oberfläche der Lüftungskanäle mit einem mechanischen Werkzeug und Druckluft
Reinigung per Roboter	Elektrisch / Druckluft	Abbürsten der Oberfläche der Lüftungskanäle mit einem mechanischen Werkzeug. Kann auch in Kombination mit Druckluftlanzen eingesetzt werden. Gerät ist mit Kamera ausgestattet.

Tab. 4-2: Trockenreinigungsmethoden

Reinigung runder Querschnitte

Lüftungskanäle mit kreisförmigem Querschnitt sind in der Regel am einfachsten zu reinigen. In den meisten Fällen passt die Bürste genau in den Lüftungskanal. Auch Druckluftdüsen sind in Lüftungskanälen mit kreisförmigem Querschnitt sehr wirkungsvoll. Falls der Staub sehr fest an der Oberfläche haftet, wird der Einsatz einer Druckluftdüse mit rotierenden Bürsten empfohlen.



Abb. 4-5: Reinigung eines runden Querschnittes durch Bürsten

Reinigung rechteckiger Querschnitte

Das Problem bei Lüftungskanälen mit rechteckigem Querschnitt besteht darin, dass eine runde Bürste nicht zu 100% in die Ecken kommt. Es wurden Spezialbürsten mit 2 verschiedenen Längen und Härten konstruiert, um einem perfekten Ergebnis möglichst nahe zu kommen. Auch ein automatischer Drehrichtungswechsel der Bürste hilft bei der Verbesserung der Reinigungswirkung. Das automatische Umkehrsystem ist dann besonders nützlich, wenn die Lüftungskanäle eine Form aufweisen, bei der die Breite mehr als das Doppelte der Höhe beträgt.



Abb. 4-6: Spezialbürste mit 2 verschiedenen Bürstenlängen und -härten

Die ultimative Lösung ist der Einsatz eines Reinigungsroboters, mit nach vorne gerichteten Bürstenbewegungen, denn so putzen die Bürsten bis in die Ecken. Die Roboter sind mit Kameras ausgerüstet, um die Bereiche auszumachen, die besonderer Aufmerksamkeit bedürfen; und da die Reinigung überwacht und aufgezeichnet werden kann, besteht die Gewähr, dass Leistung und Reinigungswirkung maximiert werden.

Lüftungskanäle zwischen 150 und 1200 mm lassen sich mit dem Roboter leicht und wirkungsvoll reinigen. Dieser kann mit Werkzeugen sowohl für die Reinigung von Lüftungskanälen mit kreisförmigem als auch mit rechteckigem Querschnitt ausgerüstet werden.



Abb. 4-7: *Komplette Ausrüstung für Inspektion und Reinigung der Luftkanäle. Rechts ist ein Reinigungsroboter mit nach vorne gerichteter Bürstenbewegung zu sehen.*

Anspruchsvolle Querschnitte

Lüftungskanäle mit schwierigen Abmessungen, wie Sie häufig in kleinen Wohnungslüftungen eingesetzt werden, lassen sich stets mit Druckluftdüsen reinigen, da die Düse der Wand des Lüftungskanals von links nach rechts und zurück folgt.

Reinigungsablauf

Die natürlichste Art, um mit der Reinigung zu beginnen, ist vom Ende der Anlage her in Richtung Absaugventilator.

Um maximale Luftgeschwindigkeit im Lüftungskanal zu erzielen, sollten sämtliche Öffnungen bis auf eine mit Karton, Kunststoff oder ähnlichem abgedichtet werden.

Die Richtlinien und Erfahrungen zeigen, dass eine Luftgeschwindigkeit von mindestens 10 m/s gewährleistet, dass der Staub wirkungsvoll aus den Lüftungskanälen befördert wird. Es werden Absperrballone verwendet, um im Inneren der Lüftungskanäle Bereiche abzugrenzen und einen möglichst hohen statischen Druck zu gewährleisten. Ausserdem kann so ein Bereich gereinigt werden, während die Klimaanlage bzw. die Lüftungsanlage die übrigen Gebäudeteile weiterhin mit Frischluft versorgt.



Abb. 4-8: Ballone zum Abdichten der Nebenkanäle

Eine gute Methode, um zu erfahren, ob der Luftstrom ausreichend ist, bietet eine Überprüfung per Einschubkamera oder Inspektionsroboter nach der Reinigung von ca. 20 Metern, um nachzusehen, ob noch Staub im Lüftungskanal verblieben ist.

Sofern sich nach der Reinigung mit Bürsten noch immer Staub im Lüftungskanal befindet, gibt es mehrere Möglichkeiten zur Lösung des Problems:

- Anschliessen eines zusätzlichen Sauglüfters; Verdoppelung der Saugleistung
- Verwendung einer Druckluftdüse in Kombination mit der Bürste
- nach der Reinigung mit einer Druckluftdüse durch zusätzliches Luftvolumen beim Abziehen des Staubes nachhelfen

Die Abdeckung der Zugangsöffnung wird abgenommen und die Bürste oder Druckluftdüse in den Lüftungskanal eingeführt. Nach Abschluss der Reinigung wird die Klappe wieder aufgesetzt und die Reinigung im nächsten Raum fortgesetzt. Nach Reinigung sämtlicher kleinen Lüftungskanäle kann die Reinigung des Hauptkanals in Angriff genommen werden.

Reinigung von Komponenten

Da eine Lüftungsanlage aus mehr als nur Lüftungskanälen besteht, ist es wichtig, auch Gebläse, Wärmetauscher, Klappen usw. zu reinigen. Ein verschmutzter Wärmetauscher führt zu übermässigem Energieverbrauch und Druckabfall, so dass der Ventilator schwerer arbeiten muss, um die gleiche Luftmenge zu transportieren. Derzeit steht für derartige Reinigungen keine spezielle Technik zur Verfügung. Es werden Druckluft, Staubsauger sowie Reinigung per Hand eingesetzt. Wo es aus dem einen oder anderen Grund unmöglich ist, Komponenten zu reinigen, während sie sich in der Anlage befinden, müssen diese u.U. ausgebaut werden.

Abschliessende Inspektion / Dokumentation

Die Inspektion und Dokumentation über die gereinigten Lüftungskanäle sollte an denselben Stellen erfolgen, an denen auch die erste Inspektion durchgeführt wurde, um zu gewährleisten, dass der Eigentümer des Gebäudes vergleichbare Daten erhält.

Es gibt sehr viele sehr unterschiedliche Methoden zur Messung, wie viel Staub noch im Lüftungskanal verblieben ist. Es sind alles Staubwischprobenahmen, wel-

che die Menge Staub in der Einheit g/m^2 ausdrücken. Wie die Untersuchung (Müller et al. 2000) zeigt, ergeben sich auch sehr unterschiedliche Resultatebereiche in Abhängigkeit des gewählten Messverfahrens. Es muss bei Vergleichen also immer in Betracht gezogen werden, mit welcher Methode gemessen wurde! Eine Methode zur Messung, wie viel Staub noch im Lüftungskanal verblieben ist, bietet der NADCA-Vakuum-Test (siehe Abb. 4-9).



Abb. 4-9: NADCA-Vakuum-Test zur Kontrolle der Reinigungseffizienz

4.3.3 Desinfektion

Die Nachfrage nach Desinfektion und Beschichtung (Coating) von Lüftungskanälen steigt. Es ist hier jedoch grosse Vorsicht geboten!

Bezüglich Desinfektion oder Coating von Lüftungsleitungen wird ein Minimierungsgebot empfohlen. Aufgrund von Desinfektionsmitteln kann es zu einer langandauernden Ausdünstung von Bioziden und von VOC kommen, was gar nicht wünschenswert ist (Inhalationstoxizität).

Es ist jedenfalls sinnvoller, eine technisch einwandfreie Anlage, welche vor Feuchtigkeit und Schmutz korrekt geschützt ist, ohne Biozideinsatz zu planen. Eine Desinfektion kann allenfalls nach einem Schadenfall in Betracht gezogen werden. Dabei gilt es zu beachten, dass beim Einsatz von Desinfektionsmitteln zwingend die Vorschriften der Hersteller und die arbeitshygienischen Grenzwerte (MAK-Werte) eingehalten werden. Eine Beeinträchtigung der Raumluftqualität (auch bei Konzentrationen unter den MAK-Werten) ist jedoch durch Lösemittel trotzdem möglich.

4.4. Erfahrungen aus einer durchgeführten Reinigung

Im Haus C wurde eine Reinigung des Leitungssystems durch ein spezialisiertes Unternehmen von den Eigentümern veranlasst. Diese Reinigung fand zwischen dem 4. und 8. November 2002, also vor der letzten Messreihe statt. Die Ergebnisse wurden vom Reinigungsinstitut in einem Kurzbericht fotografisch festgehalten. Die Bilder zeigen, dass vor allem im Abluftsystem Schmutzansammlungen entfernt werden konnten. Im Zuluftsystem befanden sich nur kleinere Ablagerungen, die

ebenfalls entfernt wurden. Die Reinigung betraf nicht das stark verschmutzte Lufterdregister, welches einen Schaden aufweist und daher auch eine Quelle für Verunreinigung sein dürfte (vgl. Kap. 6.5.4).

In der nachfolgenden Messung wurden – mit einer Ausnahme – keine Auswirkungen der Reinigung sichtbar. Dieses Resultat überrascht nicht, da schon vor der Reinigung keine signifikanten Verunreinigungen gemessen wurden. Die Ausnahme bilden die VOC, welche im gereinigten Messobjekt deutlich erhöht waren (siehe hierzu Abb. 6-8). Es ist davon auszugehen, dass für die Reinigung der Anlage Lösungsmittel verwendet wurden. Die leicht erhöhten Staubkonzentrationen (Abb. 6-1) hingegen sind nicht signifikant und nicht eindeutig auf den Effekt der Reinigung (Aufwirbelung des Staubs) zurückzuführen.

Auch das subjektive Urteil der Bewohner stellt keine Veränderung aufgrund der Reinigung fest.

5. Messungen in vier Gebäuden

5.1. Übersicht zu den durchgeführten Messungen

5.1.1 Wahl der Messobjekte und Messstellen

Zweck der Messungen

Die Luftqualität soll durch Messungen physikalischer, chemischer und biologischer Grössen an verschiedenen Stellen innerhalb eines Lüftungssystem (Zuluft) festgestellt werden. Damit soll geklärt werden inwieweit die Komfortlüftungsanlagen den Anforderungen hoher Luftqualität genügen.

Anforderungskriterien an Objekte

Um eine sinnvolle Auswahl von Objekten zu erhalten, wurden folgende Anforderungskriterien an Objekte festgelegt:

- typisches (Zuluft-) Verteilsystem mit grösserer Verbreitung
- Anlage minimal ein volles Jahr in Betrieb; bevorzugt über 5 Jahre
- Zugänglichkeit für umfassende Messungen (technische Zugänglichkeit und Einverständnis der Nutzer)
- Wartung der vergangenen Jahre ist dokumentiert
- die Anlage sollte auch im Sommer in Betrieb sein

Auswahl von Objekten

Mitte November 2001 wurden geeignete Gebäude für Messungen durch Anschreiben aller Projektpartner und Beteiligten gesucht. Erfreulicherweise erhielten wir zahlreiche Rückmeldungen:

- | | |
|---------------------------------------|---|
| • Gebr. Tobler AG, Hr. Rutz | 3 Vorschläge |
| • SM Heag AG, Hr. Lepori | 3 Vorschläge |
| • Competair GmbH, Hr. Mathys | 1 Vorschlag |
| • Macosy AG, Hr. Matt | kein Vorschlag (gebaute Objekte noch zu jung) |
| • Helios Ventilatoren AG, Hr. Schmidt | 1 Vorschlag (gebaute Objekte noch zu jung) |
| • Visionair AG, Hr. Lottaz | Referenzliste mit diversen Anlagen |
| • BFE/EMPA, Hr. Bertschinger | 6 Vorschläge |

Aus dieser Liste wurden sechs Objekte aufgrund der oben erwähnten Kriterien ausgewählt und genauere Abklärungen zusammen mit der SUVA vorgenommen. Die vier untersuchten Objekte wurden anschliessend aufgrund des Kriteriums Alter der Anlagen und weil sie einen guten Querschnitt durch die heute erhältlichen Systeme darstellten ausgewählt. Zudem sollte mindestens ein Mehrfamilienhaus dabei sein.

Messbeteiligte

Aufgrund einer Ausschreibung erhielt die SUVA (Bereich Analytik) den Auftrag die chemischen und biologischen Messungen durchzuführen. Die physikalischen Messungen sowie die Organisation wurden von Basler und Hofmann (Fachbereich Energie und Liegenschaftsbewertung) wahrgenommen. Verschiedene Lüftungsfirmen sowie die betroffenen Bewohner leisteten wichtige Unterstützung.

Ablauf der Messserien

Ein erster Messzyklus startete im März 2002. Jeweils während einem Vormittag und einem Nachmittag wurde je ein Objekt gemäss Messplan ausgemessen. Im August 2002 wurden die Messungen in allen vier Objekten wiederholt. Bei der dritten Messserie im späten Oktober 2002 wurden die Messungen der Gase weggelassen. Vor dieser Messserie wurde beim Objekt C eine Inspektion und Reinigung durchgeführt. Die genauen Messtermine sowie Informationen zur aktuellen Meteo-Situation finden sich in Tabelle 6-1.

Messstellen

Pro Gebäude sind **mindestens fünf Messpunkte** vorgesehen:

Messpunkt 1: In der Aussenluft, wenn möglich direkt bei der Ansaugstelle. Falls die Ansaugstelle offensichtlich nicht ideal platziert ist und damit gerechnet werden muss, dass dort kontaminierte Luft angesaugt wird, wird eine zweite Messstelle in der Aussenluft als Referenz verwendet.

Messpunkt 1b: Falls ein Lüfterdregister (LER) vorhanden ist, wird auch vor dem Lüftungsgerät gemessen.

Messpunkt 2: Zuluft direkt nach dem Lüftungsgerät.

Messpunkt 3: Zuluft beim Durchlass in ein Zimmer (Austritt in den Wohnraum)

Messpunkt 4: Raumluft im Wohnbereich (bevorzugt Schlafzimmer)

Messpunkt 5: Abluft beim Durchlass in einer Nasszelle

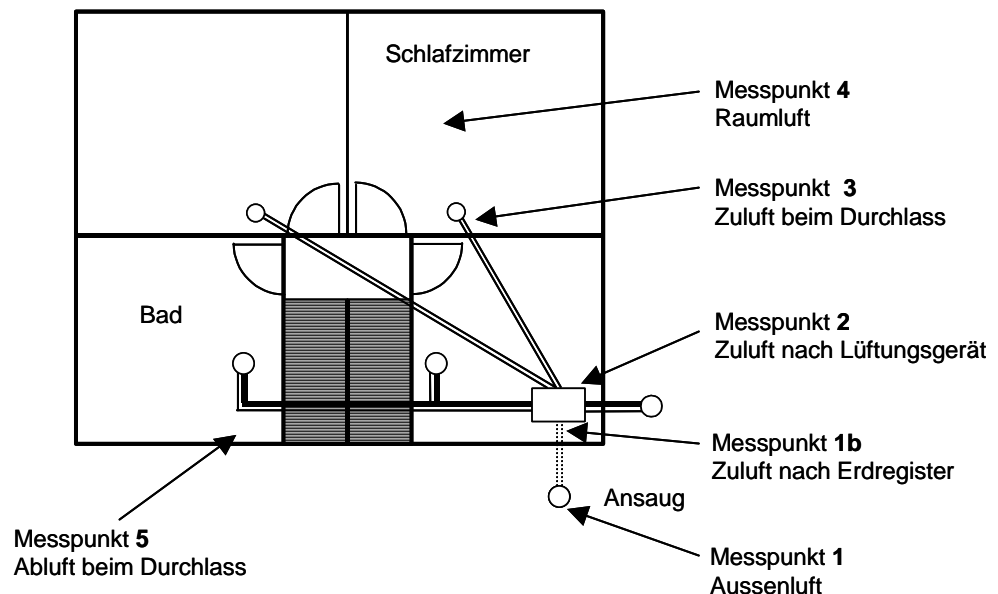


Abb. 5-1 Schematischer Messstellen-Plan

5.1.2 Unterstützende Luftfeuchte- und Lufttemperaturmessungen

Damit die Messungen der chemischen und biologischen Parameter richtig interpretiert und analysiert werden können, sind parallel dazu die physikalischen Parameter wie Lufttemperatur und -feuchte an den einzelnen Messpunkten und die Strömungsgeschwindigkeiten als Zusatzinformationen nötig. Dadurch können beispielsweise erhöhte Konzentrationen von Bakterien durch die fortwährend vorhandene hohe relative Luftfeuchtigkeit begründet werden oder Aussagen über die momentanen klimatischen Bedingungen gemacht werden. Für die Lufttemperatur und die Luftfeuchte wurden Mittelwerte für die Morgen- und die Nachmittagsmessungen aus den 1-Minuten-Werten gebildet.

Die physikalischen Messungen dienen zudem der Beurteilung der Komfortverhältnisse in den gemessenen Räumen und die Wirksamkeit der Wärmerückgewinnungsanlagen.

Mit den Messungen der Strömungsgeschwindigkeiten an den Zuluft-Auslässen wird das Luftmengenverhältnis zwischen Zuluft und der für die chemischen resp. biologischen Messungen abgesogenen Luft bestimmt. Dieses dient zur richtigen Wahl der Analyse-Pumpen. Ausserdem kann die im Luftverteilsystem eingestellte Luftmenge beurteilt werden und mit den Sollwerten der Planung verglichen werden.

Anhand von Handmessungen mit einem Zweiterät wird die Plausibilität der Datenlogger überprüft.

5.2. Technisch-wissenschaftliche Angaben zu den Messungen

5.2.1 Physikalische Messungen

Folgende Messgeräte wurden für die Messung der physikalischen Parameter eingesetzt:

Temperatur / rel. Feuchte	<p>Gerätebezeichnung: Escort Junior EJ-HS Datenlogger</p> <p>Messprinzip: Temperatur: NTC-Sensor rel. Feuchte: kapazitives Messelement</p> <p>Messintervall: 1 Minute</p> <p>Messbereich: Temperatur -20°C - 60°C Feuchtigkeit 0 - 100%</p> <p>Genauigkeit: Temperatur $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ Feuchtigkeit $\pm 3\%$</p> <p>Reaktionsverhalten: $T_{90}^2 < 1\text{min}$</p>
Temperatur	<p>Gerätebezeichnung: Escort Junior EJ-TS-D-2 Datenlogger</p> <p>Messprinzip: Temperatur: NTC-Sensor</p> <p>Messintervall: 1 Minute</p> <p>Messbereich: Temperatur -20°C - 60°C</p> <p>Genauigkeit: Temperatur $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$</p> <p>Reaktionsverhalten: $T_{90} 12\text{min}$</p>
Luftströmung	<p>Gerätebezeichnung: Höntzsch HTA mit TA10 Sensor (Handmessgerät)</p> <p>Messprinzip: thermisches Dünnschichtelement mit Ni-Widerstand</p> <p>Messintervall: Handmessung als Kontrolle</p> <p>Messbereich: Strömungsgeschwindigkeit 0.2 - 60 m/s</p> <p>Genauigkeit: im Bereich von 0.2 - 10 m/s $\pm 1.5\%$</p>
Temperatur / rel. Feuchte	<p>Gerätebezeichnung: Vaisala HMI 41 mit HMP 45 Sonde (Handmessgerät)</p> <p>Messprinzip: Temperatur: Pt1000-Sensor rel. Feuchte: kapazitives Messelement HUMICAP[®] 100</p> <p>Messintervall: Handmessung als Kontrolle</p> <p>Messbereich: Temperatur -20°C - 60°C Feuchtigkeit 0 - 100%</p> <p>Genauigkeit: Temperatur $\pm 0.2 - 0.4^{\circ}\text{C}$ Feuchtigkeit $\pm 3\%$</p> <p>Reaktionsverhalten: $T_{90} 15\text{s}$</p>
Eichung	Die Messgeräte wurden alle vor der Messserie sinngemäss geeicht.

² T_{90} ist vergleichbar mit der Zeitkonstante eines Kondensators. Die Zeit T_{90} gibt an, wie lange das es geht, bis 90% der neuen Umgebungsbedingungen erreicht sind.

5.2.2 Alveolengängiger Staub

Erfasst wurde die alveolengängige Staubfraktion gemäss EN 481 (50% „cut-off“ Punkt bei 4 µm aerodynamischem Durchmesser). Die Resultate in der Aussenluft sind erfahrungsgemäss gut vergleichbar mit der bei umwelthygienischen Messungen gebräuchlicheren Bestimmung von PM10 (50% „cut-off“ bei 10 µm) (BUWAL 2002). Der a-Staub macht ca. 80% des PM10 aus. Die Gewichtigkeit der einzelnen Staubfraktionen ist im Innenraum sehr stark abhängig von der Aktivität (Monn und Junker 1999).

Folgende Geräte und Filter wurden eingesetzt: An den Messpunkten 1 und 4 wurde der Staub kumulativ mit Zyklon-Geräten erfasst (Gravikon PM4 bzw. SG10, GSA Messgerätebau GmbH, Neuss-Norf (D)), wobei der Staub in der Frühlings-Messkampagne auf Silberfiltern (Sowa S.A., Wavre (B)), im Sommer und Herbst auf PVC-Filtern (SKC Inc., Eighty Four, PA) gesammelt wurde. An den übrigen Messpunkten (Probenahme aus Lüftungsleitungen) wurden SKC-224-Pumpen eingesetzt, mit Casella-Zyklonen als Staubsammelköpfen und Teflonschläuchen mit verschiedenen Durchmessern zur isokinetischen Probenahme aus den Lüftungsleitungen. Bei Messpunkt 3 kam im Frühling zusätzlich ein Streulichtphotometer (Grimm Labortechnik GmbH, Portable Dust Monitor 1.100, Ainring (D)) zur kontinuierlichen Staubmessung zum Einsatz. Die Resultate der verschiedenen eingesetzten Systeme sind untereinander gut vergleichbar (Suva 2002). Aufgrund der unterschiedlichen Luftdurchsätze (Gravikon PM4: 4 m³/h, SG10: 0,6 m³/h, SKC 224 0,12 m³/h), der kurzen Probenahmedauer und der verwendeten Filtermaterialien resultieren aber z.T. stark verschiedene Nachweisgrenzen (ca. 10 – 90 µg/m³). Zum Erreichen deutlich tieferer Nachweisgrenzen hätte die Probenahmedauer entsprechend verlängert werden müssen.

5.2.3 Gase

Luft (1,08 m³/h) wurde von den Messpunkten über eine Teflonleitung (10 mm Durchmesser) zu den Gasanalysegeräten im „Labo-Mobil“ geführt, ausser für die Ozon-Messung, wo das Analysegerät von Messpunkt zu Messpunkt verschoben wurde und die Luft (60 L/h) über eine kurze Teflonleitung mit 4 mm Durchmesser angesaugt wurde. Pro Messpunkt wurde jeweils am Vor- und am Nachmittag während ca. 10 - 15 Minuten gemessen und davon ein Mittelwert gebildet.

Ozon wurde mittels UV-Absorption (Horiba Ozon-Analysator APOA 360, Deltatech AG, Baden) gemessen, Kohlenmonoxid und Kohlendioxid mittels IR-Absorption (MLT1, Fisher-Rosemount Inc., Orrville, OH), Stickoxide mittels Chemilumineszenz (Tecan CLD 502, Deltatech AG). Die unteren Nachweisgrenzen lagen bei 0,5 ppb (Kohlenmonoxid), 1 ppb (Ozon), 3 ppb (Stickoxide) und 10 ppb (Kohlendioxid).

5.2.4 Flüchtige organische Verbindungen (VOC)

Die VOC-Probenahme erfolgte gemäss prEN ISO 16017-1 und EPA-Methode TO-17. Mit SKC 222-Pumpen wurden 6 L/h durch Adsorptionsröhrchen gesaugt (gepackt mit Carbopack B (1. Phase) und Carboxen 1000 (2. Phase), von Supelco, Bellefonte, PA).

Bestimmt wurde die Gesamtkonzentration flüchtiger organischer Verbindungen (TVOC), wobei das Substanzspektrum gemäss VDI-Richtlinie 4300 (Elution zwischen Hexan und Hexadecan) berücksichtigt und bezüglich Toluol als externem Standard quantifiziert wurde. Die Desorption und Auftrennung erfolgte mittels Thermodesorption-Gaschromatographie / Massenspektrometrie (TurboMatrix ATD, Autosystem XL, TurboMass Gold, von Perkin Elmer Inc., Shelton, CT), ausgerüstet mit einer mittelpolaren Vocol-Säule (60m x 0,25mm x 1,5 µm, Supelco). Einzelsubstanzen wurden mittels Massenspektrometrie identifiziert. Erfasst wurden alle Substanzen mit > 0,05 µg Toluol-Äquivalent/Röhrchen, was bei 5 h Probenahmedauer ca. 2 µg/m³ entspricht.

5.2.5 Endotoxine

Endotoxine wurden in Anlehnung an prEN 14031 und die BIA-Arbeitsmappe 9450 gemessen. Die Probenahme erfolgte mit SKC 224-Pumpen (0,21 m³/h) auf pyrogenfreie Glasfaserfilter in Gesamtstaubköpfen (Messpunkte 1 und 4) bzw. in 37 mm Feldmonitoren (Millipore Corp., Bedford, MA) an den Messpunkten 2, 3 und 5, wobei isokinetische Probenahmebedingungen durch die Wahl von Teflonschläuchen mit geeigneten Durchmessern als Messsonden approximiert wurden. Im Frühling wurden jeweils zwei Filter pro Messpunkt belegt (Vor- und Nachmittagsprobe). Aufgrund der guten Übereinstimmung dieser Werte und zur Senkung der Nachweisgrenze wurde bei den folgenden Messkampagnen nur noch ein Filter belegt.

Die Quantifizierung erfolgte mittels chromogen-kinetischem Limulus-Amoebozyt-Lysat Test (Cambrex Bio Science s.p.r.l, Verviers (B)). Damit wurde eine Nachweisgrenze von ca. 0,004 ng/m³ (bei 5 h Probenahmedauer) erreicht.

5.2.6 Luftkeimzahlen

Die Messung der Luftkeimzahlen erfolgte gemäss EN 13098. Bakterien und Schimmelpilze wurden mittels Lochplattenimpaktoren (MAS 100, MBV AG, Littau) mit 6 m³/h Luftdurchsatz auf Caso- bzw. DG18-Nähragarplatten gesammelt. Bei den Messpunkten 2, 3 und 5 waren die Lochplattenimpaktoren mit trichterförmigen Adaptern (MBV AG) zur Probenahme aus Lüftungsleitungen ausgerüstet. Es wurden am Vor- und am Nachmittag je 3 Platten belegt, wobei das Probenahmevervolumen je nach Messpunkt zwischen 100 und 500 L lag. Die Nachweisgrenze lag entsprechend zwischen 2 und 10 KBE (Kolonien bildenden Einheiten)/m³.

Die belegten Agarplatten wurden während 7 Tagen bei 30°C (Bakterien) bzw. 25°C (Schimmelpilze) inkubiert und die Kolonien nach 2, 3, 5 und 7 Tagen gezählt. Zur Grambestimmung wurden pro Messpunkt 12 Bakterienkolonien auf (für gramnegative Bakterien selektiven) MacConkey-Agar überimpft und die darauf wachsenden Kolonien wurden ausgezählt. Die Gesamtkeimzahl wurde als Summe von Bakterien und Schimmelpilzen errechnet.

Im Sommer und Herbst wurden bei Messpunkt 3 die Schimmelpilze gemäss BIA-Arbeitsmappe 9420 (BIA 1997) gemessen (Probenahme von 0,21 m³/h durch Teflonschlauch auf sterilen Polycarbonatfilter in Feldmonitor, anschliessend Inkubation des Filters direkt auf DG18-Agar), um das mit den Lochplattenimpaktoren aufgrund des grossen Luftdurchsatzes erfolgte Zurückschlagen der Raumluft zu verhindern.

5.3. Situationsbeschreibung zu den Messobjekten

5.3.1 Gebäude A

Gebäudeart	Mehrfamilienhaus
Standort	Hünenberg ZG
Inbetriebnahme der Anlage	1993
Revisionen	Frühling 2000 (Ausbau der automatischen Steuerklappen bei den Wohnungen, Installation von Drehzahlreglern, Luftmengenabgleich)
Angaben zur Nutzung der gemessenen Wohnung	1 Erwachsener / mehrheitlich Abend- und Wochenendnutzung / Nichtraucher
Lüftungsgerät	1 zentrales Gerät für 5 Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 25 Wohnungen <ul style="list-style-type: none"> - Luftmenge 3000 m³/h (geplant) - 1 Luftfilter in AUL mit Klasse F6 - 1 Luftfilter in ABL mit Klasse F6 - letzter Luftfilterwechsel: Januar 2002 (werden alle 3 Monate gewechselt) - Lufterdregister (LER) für Luftvorwärmung mit Bypass für den Direktansaug - WRG mit Rotationswärmetauscher - Restwärme wird mittels Wärmepumpe für die Warmwasservorwärmung genutzt
Luftverteilung	<ul style="list-style-type: none"> - Hauptverteilung im EG mit Blechkanälen - Steigzonen und Wohnungsverteilung in Metall-Spirorohren - Luftverteiler aus Stahlblech mit integrierten manuell bedienbaren Klappen
Luftdurchlässe ZUL	In Boden direkt unter den Heizkörpern
Lage des Gebäudes	ländlich, Nähe Hauptstrasse mit Wald
Messstellen	Messpunkt 1: Aussen gegen Südwesten Distanz zu Lüftungsgerät ca. 33m Messpunkt 1b: Nach LER unmittelbar vor AUL-Klappen des Lüftungsgerätes Messpunkt 2: ZUL nach Lüftungseinheit Distanz zu Lüftungsgerät ca. 3m Messpunkt 3: Bei Luftdurchlass im Schlafzimmer Distanz zu Lüftungsgerät ca. 25m Messpunkt 4: In Schlafzimmer Messpunkt 5: Bei ABL-Durchlass Bad
Besonderheiten	Anlage mit Lufterdregister und Abwärmennutzung für Warmwasservorwärmung

Tab. 5-1: Wichtige Angaben zu den Messungen



Abb. 5-2: Gebäude A, Messpunkt 1, Aussenluftfassung



Abb. 5-3: Gebäude A, Messpunkt 4, Messung der Raumkonditionen

5.3.2 Gebäude B

Gebäudeart	Einfamilienhaus
Standort	Niederweningen ZH
Inbetriebnahme der Anlage	1998
Revisionen	keine
Angaben zur Nutzung der gemessenen Wohnung	2 Erwachsene / mehrheitlich Abend- und Wochenendnutzung / Raucher
Lüftungsgerät	<p>1 zentrales Gerät</p> <ul style="list-style-type: none"> - Luftmenge 140 m³/h (geplant) - Drehzahlstufenschalter, während der Messung auf der Stufe 4 (ca. 160 m³/h) - 1 Luftfilter in AUL mit Klasse G4 - 1 Luftfilter in ABL mit Klasse G4 - letzter Luftfilterwechsel: März 2002 - WRG mit Kreuzstromtauscher - Restwärme wird mittels Wärmepumpe für die Warmwasservorwärmung und Zulufterwärmung genutzt
Luftverteilung System „SM-Heag“	<ul style="list-style-type: none"> - Verteilung der Zuluft im Boden EG mit PE-Rohren 50/56 mm innen glatt - Luftführung der Steigzonen in Holz und Ferma-cell ausgeführt - Abluft in Metall-Spirorohren - Anschlüsse an Lüftungsgerät mit hochflexiblen Aluminiumschläuchen - Zuluft-Verteilkasten aus Stahlblech
Luftdurchlässe ZUL	In Aussenwänden in Bodennähe
Lage des Gebäudes	ländliches Wohnquartier
Messstellen	<p>Messpunkt 1: Aussen gegen NW Distanz zu Lüftungsgerät ca. 3m</p> <p>Messpunkt 2: ZUL nach Lüftungseinheit Distanz zu Lüftungsgerät ca. 1.5m</p> <p>Messpunkt 3: Bei Luftauslass im Schlafzimmer Distanz zu Lüftungsgerät ca. 17m</p> <p>Messpunkt 4: In Schlafzimmer</p> <p>Messpunkt 5: Bei ABL-Ansaug WC/Dusche</p>
Besonderheiten	Die Zuluft wird durch die Wärmepumpe um mehrere Grad erwärmt.

Tab. 5-2: Wichtige Angaben zu den Messungen



Abb. 5-4: Gebäude B, Zustand des Kreuzstromwärmetauschers



Abb. 5-5: Gebäude B, Messpunkt 3, ZUL-Durchlass im Schlafzimmer

5.3.3 Gebäude C

Gebäudeart	Mehrfamilienhaus
Standort	Dällikon ZH
Inbetriebnahme der Anlage	1998
Revisionen	keine
Angaben zur Nutzung der gemessenen Wohnung	2 Erwachsene, 2 Kinder / Nichtraucher
Lüftungsgerät	<p>1 zentrales Gerät für 1 MFH mit 10 Wohnungen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Luftmenge 2800 m³/h (geplant) - 2-stufiger Betrieb über Zeitschaltuhr, während der Messung auf der 2. Stufe - 1 Luftfilter in AUL mit Klasse F6 - 1 Luftfilter in ABL mit Klasse G4 kurz - letzter Luftfilterwechsel im Januar 2002 - WRG mit Kreuzstromtauscher - Erdregister für Luftvorwärmung (2 PVC-Rohre Ø=435 mm à ca. 20 m)
Luftverteilung System „Ecocomfort“	<ul style="list-style-type: none"> - Hauptverteilung im EG mit Blechkanälen - Verteilung der Zuluft mit PE-Rohren 47 mm innen und aussen glatt - Zuluft-Sammelkästen aus Stahlblech verzinkt in Beton eingegossen
Luftdurchlässe ZUL	In Boden direkt unter den Heizkörpern
Lage des Gebäudes	ländliches Wohnquartier direkt an Hauptstrasse, Nähe Agglomeration Zürich
Messstellen	<p>Messpunkt 1: Aussen Niveau UG bei Tiefgarage Distanz zu Lüftungsgerät ca. 20m</p> <p>Messpunkt 1b: Nach LER unmittelbar vor AUL-Klappen des Lüftungsgerätes</p> <p>Messpunkt 2: ZUL nach Lüftungseinheit Distanz zu Lüftungsgerät ca. 2m</p> <p>Messpunkt 3: Bei Luftdurchlass im Schlafzimmer Distanz zu Lüftungsgerät ca. 52m</p> <p>Messpunkt 4: In Schlafzimmer</p> <p>Messpunkt 5: Bei ABL-Durchlass Bad</p>
Besonderheiten	Anlage mit Lufterdregister, Aussenluftfassung auf dem Niveau des Untergeschosses in der Nähe der Tiefgarage

Tab. 5-3: Wichtige Angaben zu den Messungen



Abb. 5-6: Gebäude C, Messpunkt 1b, Aussenluft nach LER



Abb. 5-7: Gebäude C, Messpunkt 1, Aussenluftfassung im Treppenschacht zur Tiefgarage

5.3.4 Gebäude D

Gebäudeart	Einfamilienhaus
Standort	Birmensdorf ZH
Inbetriebnahme der Anlage	1996
Revisionen	keine
Angaben zur Nutzung der gemessenen Wohnung	2 Erwachsene, 3 Kinder / Nichtraucher
Lüftungsgerät	<p>1 zentrales Gerät</p> <ul style="list-style-type: none"> - Luftmenge 350 m³/h - 3-stufiger Drehzahlstufenschalter, während der Messung auf der Stufe 2 - 2 Luftfilter in AUL mit Klasse G3 resp. F5 - 1 Luftfilter in ABL mit Klasse G3 - letzter Luftfilterwechsel: März 2002 - WRG mit Kreuzstromtauscher
Luftverteilung System „Pluggit“	<ul style="list-style-type: none"> - Anschlüsse an Lüftungsgerät und Steigzonen mit Spirorohren aus verzinktem Stahlblech - Zuluft-Verteilkästen aus PP gut zugänglich - Verteilung der Zuluft mit PP-Kanälen innen und aussen gerippt
Luftdurchlässe ZUL	In den Wänden mit speziellen Einheiten
Lage des Gebäudes	ländliches Wohnquartier direkt über Hauptverkehrsachse Urdorf - Hedingen, Nähe Agglomeration Zürich
Messstellen	<p>Messpunkt 1: Dach gegen N Distanz zu Lüftungsgerät ca. 2m</p> <p>Messpunkt 2: ZUL nach Lüftungseinheit Distanz zu Lüftungsgerät ca. 1.5m</p> <p>Messpunkt 3: Bei Luftauslass im Schlafzimmer Distanz zu Lüftungsgerät ca. 20m</p> <p>Messpunkt 4: In Schlafzimmer</p> <p>Messpunkt 5: Bei ABL-Ansaug WC/Dusche</p>
Besonderheiten	Aufgrund der Zugänglichkeit wurden die Messungen alle auf dem gleichen Stockwerk durchgeführt. Dadurch sind die Strecken der Lüftungsleitung relativ kurz. Die Heizungsleitungen der Raumwärme sind in den Lüftungskanälen geführt (System „Pluggit“)

Tab. 5-4: Wichtige Angaben zu den Messungen



Abb. 5-8: Gebäude D, Messpunkt 1, Aussenluftfassung auf dem Dach



Abb. 5-9: Gebäude D, Messpunkt 5, Abluftdurchlass in Dusche / WC

6. Ergebnisse der Messungen

6.1. Wichtige Informationen zu den Messungen

Objekt	Jahreszeit	Datum	Situation Meteo	Nutzung Wohnung	Störungen
A	Frühling	18.03.2002	mittl. Lufttemperatur: 10.9°C mittl. rel. Feuchte: 72% leichtbewölkt, trocken Vortage sonnig-mild	Nichtraucher. Ausser Mess- equipe war niemand in der Wohnung.	Durch Probleme bei der Klappensteuerung (Lufterdre- gister) wurde teilweise Keller- luft angesogen.
	Spätsommer	03.09.2002	mittl. Lufttemperatur: 15.4°C mittl. rel. Feuchte: 90% bedeckt, Regen mit Nebel Vortage schön	Nichtraucher. Ausser Mess- equipe war niemand in der Wohnung.	-
	Spätherbst	12.11.2002	mittl. Lufttemperatur: 4.7°C mittl. rel. Feuchte: 93% Nebel Vortage regnerisch-trüb	Nichtraucher. Ausser Mess- equipe war niemand in der Wohnung.	Klappe des Direktansauges / Lufterdregisters (LER) nicht komplett geschlossen. Daher 80% AUL über LER und 20% direkt.
B	Frühling	25.03.2002	mittl. Lufttemperatur: 6.1°C mittl. rel. Feuchte: 58% heiter, trocken, kalt (Bise) Vortage winterlich-bedeckt, z.T. leichter Schneefall	Bewohner teilweise Raucher, neben Messequipe 1 Person anwesend	Sicherung der Ventilatorsteu- erung musste am Anfang der Messperiode ersetzt werden. Fortluftzone im Lüftungsgerät nicht zugänglich.
	Spätsommer	26.08.2002	mittl. Lufttemperatur: 21°C mittl. rel. Feuchte: 78% leicht bewölkt Vortage sonnig-warm, z.T. Gewitter	Bewohner teilweise Raucher, neben Messequipe 1 Person anwesend	-
	Spätherbst	11.11.2002	mittl. Lufttemperatur: 10.5°C mittl. rel. Feuchte: 94% bedeckt, Regen, Südwestwind Vortage regnerisch-trüb	Bewohner teilweise Raucher. Keine Bewohner/innen anwe- send.	-
C	Frühling	27.03.2002	mittl. Lufttemperatur: 7.5°C mittl. rel. Feuchte: 52% heiter, trocken, kalt (Bise) Vortage gleich	Nichtraucher. Neben Mess- equipe Bewohner/innen anwesend	-
	Spätsommer	21.08.2002	mittl. Lufttemperatur: 20°C mittl. rel. Feuchte: 64% leichtbewölkt, trocken Vorabend Regen, Vortage schön	Nichtraucher. Neben Mess- equipe Bewohner/innen anwesend	-
	Spätherbst	13.11.2002	mittl. Lufttemperatur: 9.7°C mittl. rel. Feuchte: 76% bewölkt, Regen mit Nebel Vortage gleich	Nichtraucher. Neben Mess- equipe Bewohner/innen anwesend	-

Fortsetzung siehe nächste Seite

D	Frühling	03.04.2002	mittl. Lufttemperatur: 15.7°C mittl. rel. Feuchte: 50% Reif, trocken, tagsüber sonnig und warm, leichter Wind Vortage gleich	Nichtraucher. Neben Mess- equipe Bewohner/innen anwesend	-
	Spätsommer	27.08.2002	mittl. Lufttemperatur: 20.5°C mittl. rel. Feuchte: 69% Tau, trocken, bewölkt mit Auf- hellungen Vortage schön	Nichtraucher. Neben Mess- equipe Bewohner/innen anwesend	-
	Spätherbst	04.11.2002	mittl. Lufttemperatur: 9°C mittl. rel. Feuchte: 83% bewölkt, starker Regen Vortage (2) regnerisch-trüb, Vorperiode spätsommerlich schön	Nichtraucher. Neben Mess- equipe Bewohner/innen anwesend	-

Tab. 6-1: Wichtige Angaben zu den Messungen

6.2. Physikalische Parameter

Die Messstellenbezeichnungen werden im ganzen Kapitel gemäss Abb. 5-1 verwendet!

6.2.1 Ergebnisse der physikalischen Parameter

Die Luftmengen in m³/h wurden anhand der Messung der Strömungsgeschwindigkeit und dem Querschnitt des ZUL-Durchlasses bestimmt.

Luftmengenmessung

Messobjekt	Messpunkt	Strömungsgeschw. [m/s]	Querschnitt [m ²]	Volumenstrom [m ³ /h]
Objekt A	3	0.5	0.021	38
Objekt B	3	0.3	0.0077	8
Objekt C	3	1.0	0.011	40
Objekt D	3	0.3	0.0072	8

Tab. 6-2: Messung der Luftmenge beim Zuluftdurchlass im Schlafzimmer

In den folgenden Tabellen ist für eine verbesserte Übersichtlichkeit der Messpunkt 3 (Zuluft vor Austritt), bei dem keine Messungen stattfanden, weggelassen worden und die Werte im Innenraum sind grau hinterlegt.

Messung der relativen
Feuchtigkeit

Messobjekt A					
Mess- periode	Mess- punkt	Mittelwert rF [%]	rF Min / rF Max [%]	Mittelwert rF [%]	rF Min / rF Max [%]
		Vormittag	Vormittag	Nachmittag	Nachmittag
Frühling	1	-	-	-	-
	1b	-	-	-	-
	2	41	37 / 48	45	37 / 49
	4	36	35 / 38	37	35 / 42
	5	41	40 / 44	41	40 / 43
Sommer	1	91	77 / 97	96	94 / 97
	1b	-	-	-	-
	2	91	88 / 92	93	92 / 94
	4	60	59 / 65	61	60 / 62
	5	64	64 / 65	65	64 / 65
Herbst	1	96	93 / 98	99	98 / 100
	1b	-	-	-	-
	2	50	48 / 54	51	50 / 54
	4	43	43 / 44	43	43 / 43
	5	46	46 / 46	45	44 / 46

Tab. 6-3: Messung der relativen Luftfeuchtigkeit beim Objekt A

Messobjekt B					
Mess- periode	Mess- punkt	Mittelwert rF [%]	rF Min / rF Max [%]	Mittelwert rF [%]	rF Min / rF Max [%]
		Vormittag	Vormittag	Nachmittag	Nachmittag
Frühling	1	-	-	-	-
	2	15	15 / 17	15	13 / 22
	4	32	31 / 36	31	30 / 33
	5	27	27 / 29	28	24 / 29
Sommer	1	83	77 / 87	72	66 / 80
	2	74	72 / 76	74	72 / 76
	4	60	60 / 62	59	59 / 60
	5	67	66 / 72	67	67 / 69
Herbst	1	96	92 / 98	92	85 / 96
	2	42	40 / 43	37	35 / 42
	4	49	48 / 53	48	47 / 50
	5	50	50 / 50	49	48 / 50

Tab. 6-4: Messung der relativen Luftfeuchtigkeit beim Objekt B

Messobjekt C					
Messperiode	Messpunkt	Mittelwert rF [%]	rF Min / rF Max [%]	Mittelwert rF [%]	rF Min / rF Max [%]
		Vormittag	Vormittag	Nachmittag	Nachmittag
Frühling	1	-	-	-	-
	1b	-	-	-	-
	2	26	25 / 38	28	27 / 29
	4	30	27 / 33	29	26 / 32
	5	31	31 / 33	31	31 / 32
Sommer	1	67	63 / 72	60	56 / 63
	1b	-	-	-	-
	2	63	60 / 68	57	54 / 60
	4	60	58 / 66	57	57 / 59
	5	60	59 / 63	58	53 / 59
Herbst	1	76	73 / 79	75	73 / 77
	1b	-	-	-	-
	2	42	41 / 45	43	42 / 44
	4	44	43 / 45	45	43 / 47
	5	44	43 / 48	44	44 / 44

Tab. 6-5: Messung der relativen Luftfeuchtigkeit beim Objekt C

Messobjekt D					
Messperiode	Messpunkt	Mittelwert rF [%]	rF Min / rF Max [%]	Mittelwert rF [%]	rF Min / rF Max [%]
		Vormittag	Vormittag	Nachmittag	Nachmittag
Frühling	1	-	-	-	-
	2	41	37 / 45	34	30 / 40
	4	34	31 / 36	33	32 / 33
	5	36	31 / 45	37	36 / 40
	Sommer	1	70	64 / 75	66
2		59	57 / 67	57	55 / 59
4		55	54 / 58	53	52 / 54
5		57	56 / 67	56	56 / 57
Herbst		1	82	72 / 88	84
	2	41	39 / 43	41	40 / 43
	4	50	48 / 59	49	48 / 50
	5	45	45 / 47	45	44 / 46

Tab. 6-6: Messung der relativen Luftfeuchtigkeit beim Objekt D

Messung der
Lufttemperaturen

Messobjekt A					
Mess- periode	Mess- punkt	Mittelwert 9 [°C]	9 Min/ 9 Max [°C]	Mittelwert 9 [°C]	9 Min/ 9 Max [°C]
		Vormittag	Vormittag	Nachmittag	Nachmittag
Frühling	1	7.7	7.5 / 8.3	12.5	7.8 / 16.0
	1b	11.2	10.0 / 12.6	11.3	10.8 / 12.9
	2	17.7	16.8 / 18.6	18.1	17.5 / 19.1
	4	22.3	21.9 / 22.4	22.7	22.4 / 22.9
	5	20.8	20.6 / 20.9	20.9	20.9 / 21.1
Sommer	1	16.4	16.0 / 18.1	16.6	16.3 / 16.8
	1b	17.9	15.7 / 19.3	15.0	12.3 / 19.3
	2	16.7	16.5 / 17.3	16.5	16.5 / 16.5
	4	23.1	21.1 / 23.5	22.7	22.4 / 23.5
	5	22.4	22.2 / 22.4	22.4	22.2 / 22.4
Herbst	1	5.3	5.0 / 5.6	5.8	5.3 / 6.1
	1b	11.3	11.0 / 12.3	10.8	10.8 / 11.0
	2	18.1	17.8 / 18.3	17.8	17.8 / 17.8
	4	21.2	21.1 / 21.4	21.4	21.4 / 21.5
	5	21.1	21.1 / 21.1	21.2	21.1 / 21.4

Tab. 6-7: Messung der Lufttemperatur beim Objekt A

Messobjekt B					
Mess- periode	Mess- punkt	Mittelwert 9 [°C]	9 Min/ 9 Max [°C]	Mittelwert 9 [°C]	9 Min/ 9 Max [°C]
		Vormittag	Vormittag	Nachmittag	Nachmittag
Frühling	1	5.3	4.4 / 6.1	6.1	4.7 / 7.2
	2	24.8	24.2 / 25.3	25.5	24.2 / 26.6
	4	21.2	20.6 / 21.7	21.7	21.4 / 22.4
	5	21.1	21.1 / 21.4	20.8	19.9 / 21.1
Sommer	1	19.9	19.3 / 21.1	22.6	21.4 / 23.5
	2	21.6	21.4 / 21.9	22.0	21.9 / 22.2
	4	24.1	22.9 / 24.5	24.5	24.5 / 24.5
	5	22.5	21.1 / 22.7	22.7	22.7 / 22.7
Herbst	1	11.2	10.8 / 11.6	10.0	8.9 / 11.8
	2	24.8	24.5 / 25.6	25.5	24.8 / 26.3
	4	20.6	20.4 / 20.6	20.4	20.4 / 20.4
	5	21.7	21.4 / 21.9	21.9	21.9 / 21.9

Tab. 6-8: Messung der Lufttemperatur beim Objekt B

Messobjekt C					
Mess- periode	Mess- punkt	Mittelwert 9 [°C]	9 Min/ 9 Max [°C]	Mittelwert 9 [°C]	9 Min/ 9 Max [°C]
		Vormittag	Vormittag	Nachmittag	Nachmittag
Frühling	1	6.5	5.6 / 7.8	8.4	7.8 / 8.9
	1b	6.5	5.9 / 7.5	8.1	7.5 / 8.6
	2	16.3	16.0 / 16.8	16.9	16.5 / 17.0
	4	21.5	20.9 / 21.7	21.6	21.4 / 21.9
	5	21.4	21.4 / 21.4	21.4	21.4 / 21.4
Sommer	1	19.7	19.3 / 22.2	20.3	19.9 / 20.9
	1b	-	-	-	-
	2	21.1	20.9 / 21.7	21.5	21.1 / 21.7
	4	22.9	22.7 / 23.2	23.2	23.2 / 23.5
	5	23.7	23.2 / 23.7	23.7	23.7 / 23.7
Herbst	1	9.2	8.6 / 10.0	10.1	9.4 / 10.8
	1b	10.1	9.7 / 11.6	10.7	10.2 / 11.3
	2	19.3	18.6 / 19.6	19.6	19.3 / 19.9
	4	21.2	20.4 / 21.4	21.7	21.4 / 22.2
	5	21.7	20.6 / 21.9	21.9	21.9 / 21.9

Tab. 6-9: Messung der Lufttemperatur beim Objekt C

Messobjekt D					
Mess- periode	Mess- punkt	Mittelwert 9 [°C]	9 Min/ 9 Max [°C]	Mittelwert 9 [°C]	9 Min/ 9 Max [°C]
		Vormittag	Vormittag	Nachmittag	Nachmittag
Frühling	1	11.6	7.8 / 15.5	17.0	15.5 / 18.3
	2	16.7	15.0 / 18.8	19.5	18.8 / 20.4
	4	22.9	20.1 / 25.0	24.1	23.7 / 24.5
	5	21.3	20.4 / 21.7	22.0	21.7 / 22.2
Sommer	1	20.3	19.3 / 21.7	21.0	20.6 / 21.4
	2	23.7	21.1 / 24.0	24.1	24.0 / 24.2
	4	24.6	24.0 / 25.0	25.0	25.0 / 25.0
	5	24.0	21.1 / 24.2	24.2	24.2 / 24.2
Herbst	1	9.0	8.1 / 10.0	8.9	8.1 / 9.4
	2	21.2	20.1 / 21.4	21.1	21.1 / 21.1
	4	21.0	18.1 / 21.4	21.4	21.1 / 21.4
	5	21.4	20.6 / 21.7	21.4	21.1 / 21.4

Tab. 6-10: Messung der Lufttemperatur beim Objekt D

6.2.2 Interpretation der physikalischen Messresultate

Die Messungen der physikalischen Parameter haben in dieser Untersuchung nur eine Bedeutung im Zusammenhang mit den biologischen und chemischen Messungen. Sie sind nicht geeignet um allgemeine Aussagen zu Luftmengen, Feuchtigkeiten und Temperaturen in gelüfteten Wohnbauten zu machen. Dazu gibt es zahlreiche andere umfangreichere Untersuchungen. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass die hier festgestellten Werte ein realistisches Bild der heutigen Verhältnisse zeigen.

Allgemeines zu den Luftmengenmessungen

Die Luftmengen wurden anhand der Aufnahme der Strömungsgeschwindigkeiten und des Querschnitts bestimmt. Diese Messmethode wurde eingesetzt, da nur eine Abschätzung der Luftmengenverhältnisse zwischen der Zuluftmenge und der Pumpmenge zur Analyse (siehe Kapitel 5.1.2) durchgeführt werden muss. Das Verfahren ist im Vergleich mit dem Flow-Finder-Messverfahren (Kompensationsmessung), welches oft für eine verlässliche Bestimmung der Luftmengen angewendet wird, relativ ungenau. Es lässt aber trotzdem eine qualitative Aussage über die eingestellten Luftmengen zu.

Luftmengen Objekt A

Die gemessene Luftmenge der Zuluft im Schlafzimmer entspricht den Planungswerten (erhöhte Betriebsstufe). Die $38 \text{ m}^3/\text{h}$ sind gemäss heutigen Erfahrungswerten etwas zu hoch. Der Sollwert für diese Raumgrösse und Nutzung beträgt $30 \text{ m}^3/\text{h}$.

Luftmengen Objekt B

Die Zuluftmenge im Schlafzimmer mit ca. $8 \text{ m}^3/\text{h}$ ist gegenüber dem Planungswert von $20 \text{ m}^3/\text{h}$ zu tief und entspricht nicht der für die Einhaltung der Luftqualität nötigen Menge. Da die Lüftung von den Benutzern im Normalfall nur auf der 4. Stufe von max. 6 möglichen betrieben wird, besteht noch die Möglichkeit einer Erhöhung. Eventuell ist trotzdem ein Abgleich des Lüftungssystems nötig.

Luftmengen Objekt C

Die Zuluftmenge im Schlafzimmer mit ca. $40 \text{ m}^3/\text{h}$ ist gegenüber dem Planungswert von $20 \text{ m}^3/\text{h}$ zu hoch. Eventuell ist ein Abgleich des Lüftungssystems nötig, sofern dieser durch vorhandene Regeleinheiten möglich ist. Die erhöhten Mengen sind oft ein Indiz, dass andere Luftstränge zu wenig Luft führen.

Luftmengen Objekt D

Die Zuluftmenge im Schlafzimmer mit ca. $8 \text{ m}^3/\text{h}$ ist gegenüber dem Planungswert von $20 \text{ m}^3/\text{h}$ zu tief und entspricht nicht der für die Einhaltung der Luftqualität nötigen Menge. Da die Lüftung von den Benutzern im Normalfall nur auf der 2. Stufe von max. 3 möglichen betrieben wird, besteht noch die Möglichkeit einer Erhöhung.

Allgemeines zur relativen Luftfeuchtigkeit

Der Behaglichkeitsbereich für die relative Luftfeuchtigkeit erstreckt sich von 30% r.F. (bei 19 - 24°C) bis 70% r.F. Gelegentliche Unter- und Überschreitungen dieses Bereiches an einigen Tagen pro Jahr sind zulässig. Zu beachten ist, dass kalte Winterluft naturgemäss beim Aufheizen sehr trocken wird. Für die Hygiene in den Lüftungsanlagen ist dies ein Vorteil. Falls auch die Raumluft zu trocken wird, sollten die Bewohner entweder die Temperatur in den Zimmern senken, sehr re-

gelmässig Staub reinigen oder im Notfall – und nur bei regelmässiger Reinigung und bei Verwendung eines Hygrometers – einen Raumluftbefeuchter verwenden. Eine Befeuchtung über die Lüftungsanlage ist jedenfalls zu vermeiden. Klagen wegen zu trockener Luft haben oft auch mit anderen Ursachen, wie zu grosser Staubgehalt der Luft o.ä., zu tun. Bei zu hohen relativen Luftfeuchtigkeiten besteht die Gefahr von Schimmelpilz- und Bakterienbildung an kalten Stellen im Kanalnetz oder im Gebäude, was zu gesundheitlichen Problemen führen kann. Hohe Luftfeuchtigkeit wird von Milben bevorzugt.

rel. Luftfeuchtigkeit Objekt A	Der Behaglichkeitsbereich der relativen Luftfeuchtigkeit wird im Objekt A sowohl in den trockenen wie auch in den feuchten Jahreszeiten eingehalten. Es sind an keinem der Messpunkte kritische Werte erkennbar. Der Rotationswärmetauscher bewirkt durch den Feuchteausaustausch über das Wärmetauscher-Rad eine leichte Erhöhung der relativen Feuchtigkeit während den kalten Monaten (bekanntes Phänomen).
rel. Luftfeuchtigkeit Objekt B	Die sehr tiefe relative Luftfeuchtigkeit in der Zuluft während der Frühlingsmessung kommt durch die starke Luffterwärmung von 5.3°C auf 24.8°C durch die im Lüftungsaggregat eingebaute Wärmepumpe zustande. Trotz dieser tiefen Werte der Zuluft befindet sich die Raumluftkonditionen des ausgemessenen Schlafzimmers knapp im Sollbereich.
rel. Luftfeuchtigkeit Objekt C	Die Frühlingsmessung bei tiefen Aussentemperaturen zeigt, dass die Zuluft und die Raumluft bezüglich relativer Feuchte knapp unterhalb des erforderlichen Bereiches liegen obwohl die Bewohner anwesend waren. Eine Handmessung zeigt, dass alleine durch die Platzierung des Aussenluftansauges im Treppenschacht (Untergeschoss) die Luft am Messpunkt 1 gegenüber der Aussenluft (Erdgeschoss) um ca. 4.6°C erwärmt wurde. Naturgemäss nimmt damit die relative Feuchtigkeit um ca. 22% (aus h, x-Diagramm) ab. Durch die Sorption von Wasserdampf durch den vorhandenen Staub und die Umgebungsflächen kann die relative Feuchtigkeit jedoch noch weiter abgesenkt werden.
rel. Luftfeuchtigkeit Objekt D	Die Luftkonditionen sind bezüglich den Anforderungen an die relative Feuchtigkeit sowohl komfort- wie auch hygienetechnisch (Schimmelpilzbildung) im unkritischen Bereich.
Allgemeines zur Temperatur	Der Behaglichkeitsbereich für die Raumlufttemperatur für Wohnbauten bewegt sich im Winter bei Wohnnutzung zwischen 19 und 24°C und im Sommer zwischen 23 und 26°C. Bei zu tiefen Luft- und Oberflächentemperaturen im Kanalnetz kann an gewissen Stellen der Taupunkt unterschritten werden. Dies führt unter Umständen zur Bildung von Schimmelpilzen und Bakterien resp. deren Abfallprodukten. Entsprechend muss bei der tendenziell feuchten Abluft darauf geachtet werden, dass sich diese im Kanalnetz nicht abkühlt.
Temperaturen Objekt A	Durch die Nutzung der Erdwärme mit dem Luffterdregister und die Wärmerückgewinnung anhand des Rotationswärmetauschers wird die Aussenluft im Frühling

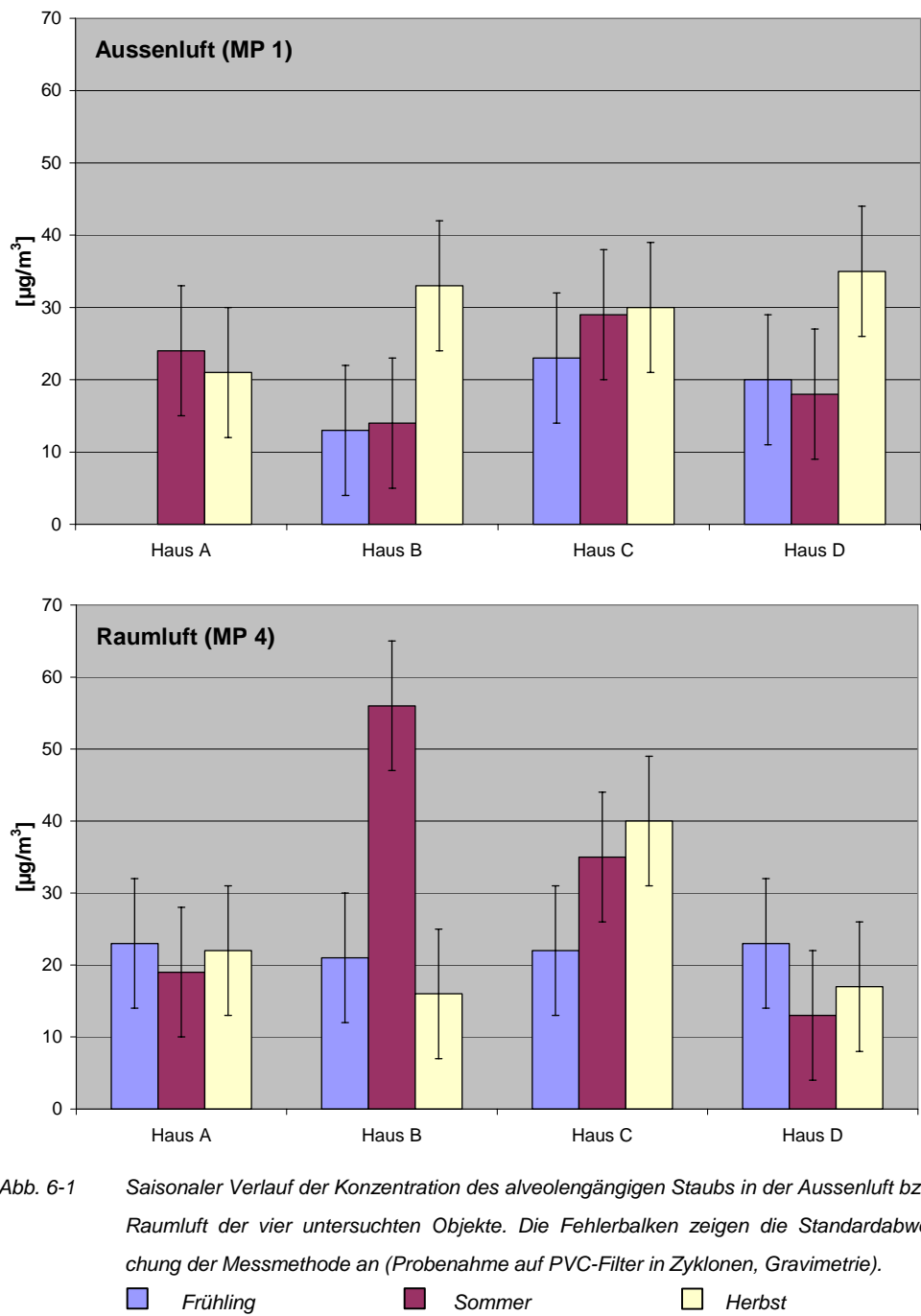
und Herbst ohne Einsatz von zusätzlicher Heizenergie um ca. 10 - 13°C erwärmt. Die Temperaturen sind alle im Sollbereich.

Temperaturen Objekt B	Wie bereits im Abschnitt relative Luftfeuchtigkeit erwähnt, wird die Aussenluft durch die Wärmepumpe auf ca. 25°C erwärmt. Die Raumlufttemperaturen liegen jedoch im üblichen Rahmen.
Temperaturen Objekt C	Das der Lüftungsanlage vorgeschaltete Lufterdregister bringt aufgrund des sehr kleinen Temperaturhubes nicht den gewünschten Nutzen. Dies kann eventuell auf die starke Wassersättigung (gute Wärmeleitung) des Füllmaterials um das Lufterdregister zurückgeführt werden. Alle Temperaturen befinden sich in einem vernünftigen Bereich. Die Zulufttemperatur von rund 16°C bei einer Aussentemperatur von 6°C lässt auf relativ tiefe Einblastemperaturen bei kalten Wintertagen schliessen. Da die Zuluftdurchlässe direkt unter den Heizkörpern platziert sind, wird die Zuluft unmittelbar auf das nötige Niveau angehoben und es treten keine Zugluftprobleme auf.
Temperaturen Objekt D	Die spezielle Leitungsführung des Lüftungsverteilsystems (die Heizungsleitungen werden in den Luftkanälen geführt) führt zu einer Erwärmung der Zuluft um ca. 6°C, was vor allem bei kalten Aussentemperaturen positiv zum Tragen kommt. Dadurch wird verhindert, dass mit zu tiefen Temperaturen in die Räume eingeblasen wird.

6.3. Chemische Schadstoffe

6.3.1 Ergebnisse der chemischen Schadstoffmessungen

Staub	<p>Die Konzentrationen an alveolengängigem Staub lagen an den Messpunkten 1 (Aussenluft) und 4 (Raumluft im Schlafzimmer) im Bereich von 13 – 40 µg/m³. Der höchste Wert in der Raumluft in Haus B mit 56 µg/m³ wurde vermutlich durch Zigarettenrauch verursacht, wie in Abb. 6-1 (alveolengängiger Staub in der Aussenluft bzw. in der Raumluft) dargestellt wird.</p> <p>Die Messungen innerhalb der Lüftungssysteme waren methodenbedingt mit einer relativ hohen Nachweisgrenze (80 – 90 µg/m³) behaftet. Obwohl bekannt ist, dass in Innenräumen und in Lüftungskanälen die Konzentrationen an alveolengängigem Staub deutlich tiefer liegen als die oben erwähnte Nachweisgrenze, wurden die Messungen mit der in Kapitel 5.2.2 beschriebenen Methode gemacht. Grobe Verunreinigungen hätten mit dieser Methode erkannt werden können, was den Ansprüchen an die Messungen genügt. Die Staubkonzentrationen waren an den Messpunkten in den Lüftungskanälen dann auch stets tiefer. Das Auftreten starker Staubemissionen aus dem Lüftungssystem kann ausgeschlossen werden.</p>
-------	--



Kohlendioxid

Die Resultate der Kohlendioxidmessungen sind in Abb. 6-2 dargestellt. Es ist klar erkenntlich, dass CO₂ im Innenraum entsteht und in Abhängigkeit der Lüftungsleistung und Belegungsdichte z.T. erhöhte Konzentrationen (bis zu 900 ppm) erreicht. Die CO₂-Konzentration in der Aussenluft war sehr konstant bei 400 ± 20 ppm, wobei kein Unterschied zwischen den Standorten feststellbar war. Der leicht erhöhte Wert im Sommer bei Objekt D ist auf eine geringe Miterfassung von Raumluft zurückzuführen.

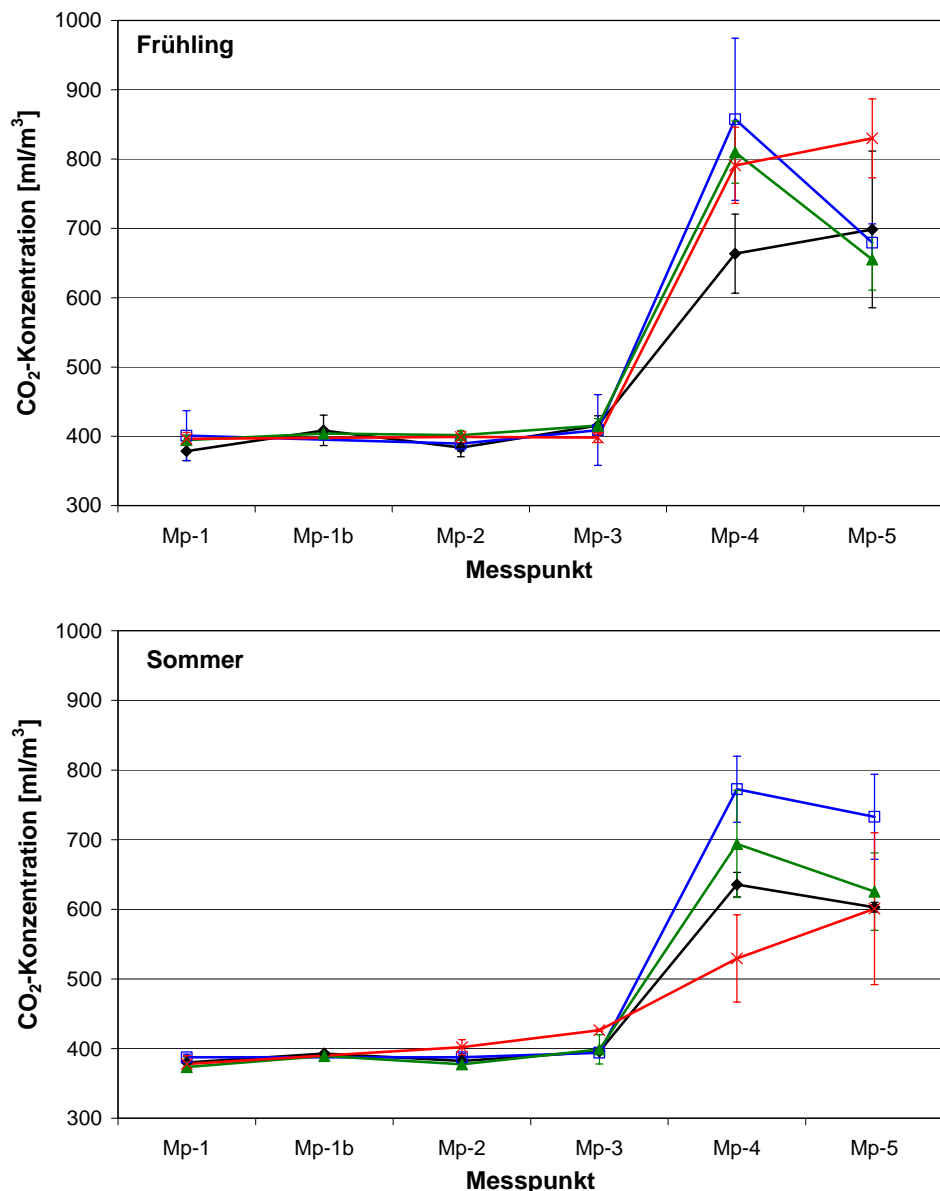


Abb. 6-2 Verlauf der Kohlendioxid-Konzentration entlang des Luftwegs in den vier untersuchten Objekten anlässlich von Messungen im Frühjahr und Sommer. Die Messwerte wurden aus zwei 10-Minuten-Intervallen (Vor- und Nachmittagsmessung) gemittelt. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung über die gesamte Messdauer an.

◆ Haus A □ Haus B ▲ Haus C × Haus D

Kohlenmonoxid

Die Kohlenmonoxid-Konzentrationen waren generell tief und lagen zwischen 0,7 und 2 ppm, mit zwei (zigarettenrauchbedingten) Ausreissern im Sommer in Haus B (Vormittagskonz. von 2,9 (MP 4) resp. 3,3 (MP 5) ppm). Abgesehen von diesen Ausreissern (Abb. 6-3) traten keine grossen Schwankungen auf. Die Kohlenmonoxid-Konzentrationen waren im Sommer generell etwas geringer, am ausgeprägtesten bei Haus D. Der im Frühling festgestellte (nicht signifikante) Trend zu Erhöhung der CO-Konzentration entlang des Luftwegs wurde im Sommer nicht bestätigt.

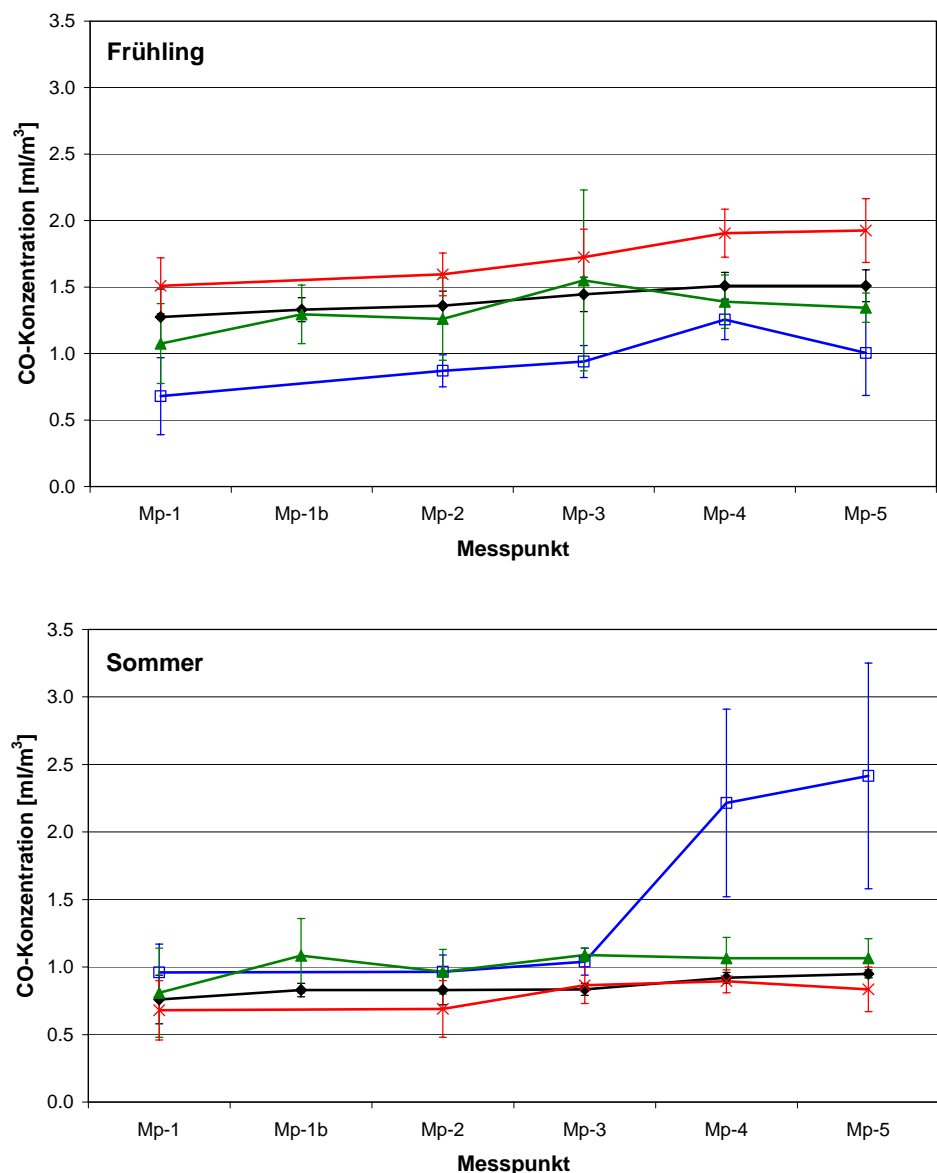


Abb. 6-3 Verlauf der Kohlenmonoxid-Konzentration entlang des Luftwegs in den vier untersuchten Objekten anlässlich von Messungen im Frühjahr und Sommer. Die Messwerte wurden aus zwei 10-Minuten-Intervallen (Vor- und Nachmittagsmessung) gemittelt. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung über die gesamte Messdauer an.

◆ Haus A □ Haus B ▲ Haus C ✕ Haus D

Stickoxide

Die Stickstoffdioxidkonzentrationen lagen zwischen 15 und 25 ppb ($30 - 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) im Frühling und zwischen 8 und 18 ppb ($16 - 36 \mu\text{g}/\text{m}^3$) im Sommer (Abb. 6-5). Dies entspricht Konzentrationsbereichen und einem saisonalen Verlauf, wie sie für Agglomerationsgebiete typisch sind (Buwal 2002). Im Tagesverlauf (Vergleich Messwerte Vor- und Nachmittag, Daten nicht gezeigt) traten kaum grosse Unterschiede auf, mit Ausnahme von Haus A, wo insbesondere in der Aussenluft die NO_2 -Konzentration im Tagesverlauf deutlich von 9 auf 22 ppb zunahm. Dieser Effekt wurde im Rauminnern aufgrund der „Pufferkapazität“ ausgeglichen. Weder NO_2 noch NO wiesen ansonsten signifikante Schwankungen entlang des Luftwegs auf, d.h. die Gase verhielten sich stabil und es traten keine grösseren Quellen oder Senken auf.

Beim Stickstoffmonoxid waren die Werte insbesondere der Häuser A und B wider Erwarten im Sommer mit 31 – 42 ppb deutlich höher als im Frühling, wo alle gemessenen Konzentrationen zwischen 4 und 13 ppb lagen (Abb. 6-5). Währenddem im Frühling bei tiefer Grundkonzentration einige Ausreisser auftraten, die mit spezifischen Ereignissen während der Messung korreliert waren (z.B. Zigarettenrauch in Haus B, Einfluss der Tiefgarage bei Haus C), so gingen solche Effekte im Sommer in der höheren Grundkonzentration unter.

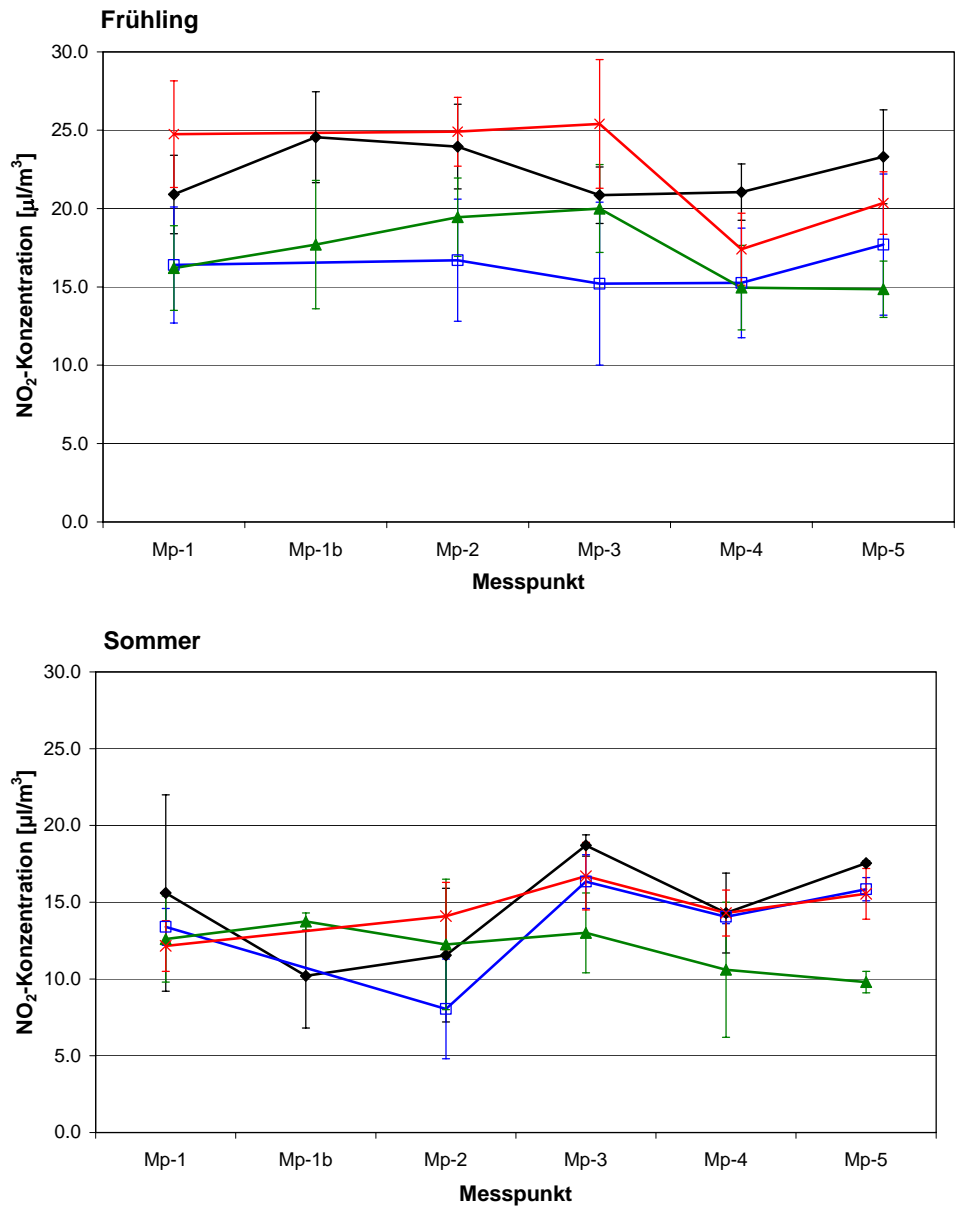


Abb. 6-4 Verlauf der Stickstoffdioxid-Konzentrationen entlang des Luftwegs in den vier untersuchten Objekten anlässlich von Messungen im Frühjahr und Sommer. Die Messwerte wurden aus zwei 10-Minuten-Intervallen (Vor- und Nachmittagsmessung) gemittelt. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung über die gesamte Messdauer an.

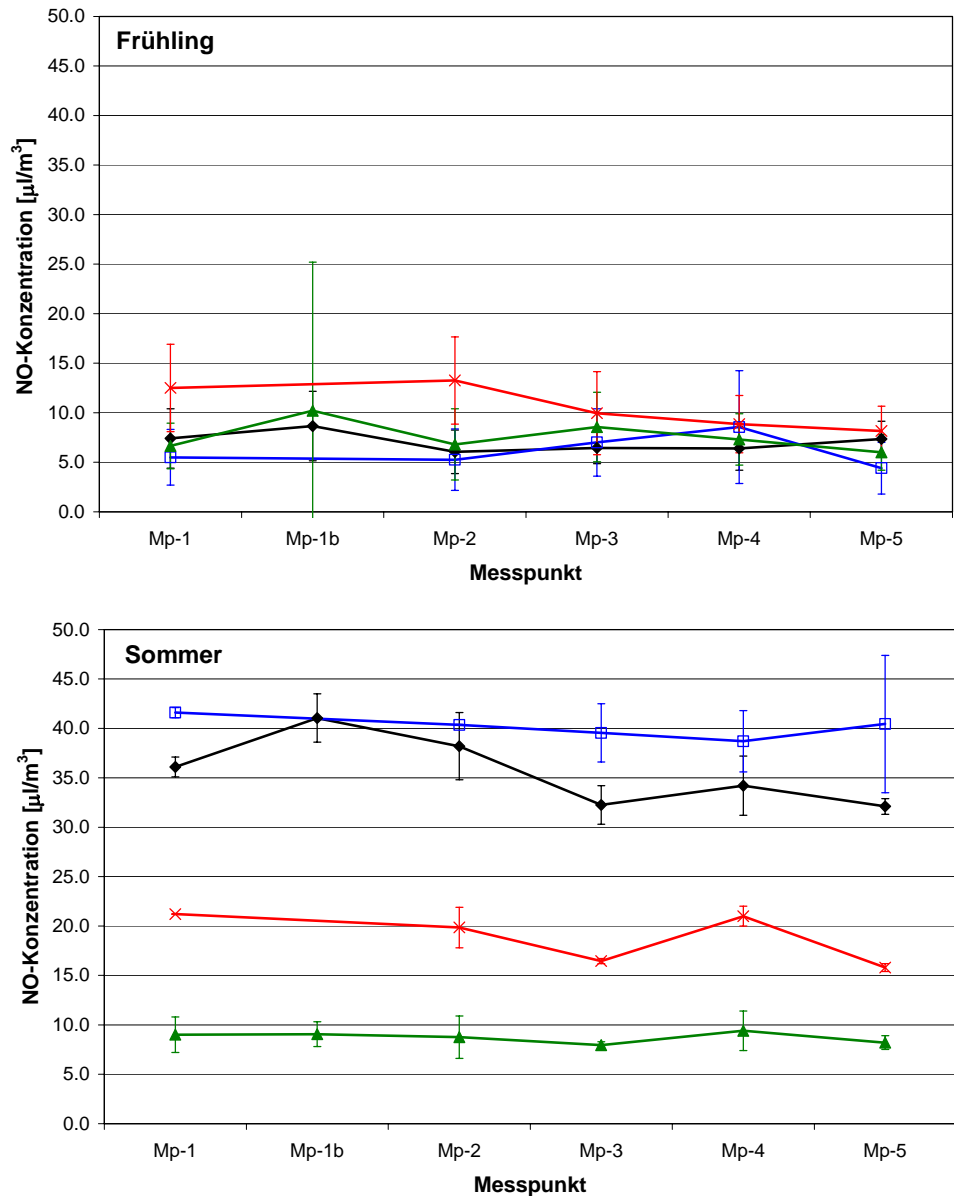


Abb. 6-5 Verlauf der Stickstoffmonoxid-Konzentrationen entlang des Luftwegs in den vier untersuchten Objekten anlässlich von Messungen im Frühjahr und Sommer. Die Messwerte wurden aus zwei 10-Minuten-Intervallen (Vor- und Nachmittagsmessung) gemittelt. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung über die gesamte Messdauer an.

◆ Haus A □ Haus B ▲ Haus C × Haus D

Ozon

Die gemessenen Ozonkonzentrationen waren stark witterungsabhängig. Da im Sommer nicht während einer länger anhaltenden Schönwetterperiode gemessen wurde, waren die durchschnittlichen Aussenluft-Konzentrationen mit 20 – 32 ppb im Sommer sogar etwas geringer als im Frühjahr (25 – 36 ppb, Abb. 6-6). Typischerweise lagen die Aussenluftkonzentrationen deutlich höher als die Innenraumwerte, z.T. nahmen die Konzentrationen bereits im Lüftungssystem ab. Meist waren die Nachmittagswerte in der Aussenluft aufgrund der vermehrten Photooxidation höher als die am Vormittag gemessenen (beispielhaft dargestellt in Abb.

6-7). Aufgrund der Witterung (Vortage schön mit vermutlich rel. hohen Ozonkonzentrationen, Messtag bedeckt mit Nieselregen) kehrte sich das Verhältnis von Aussen zu Innen bei der Messung in Haus A im Sommer sogar um.

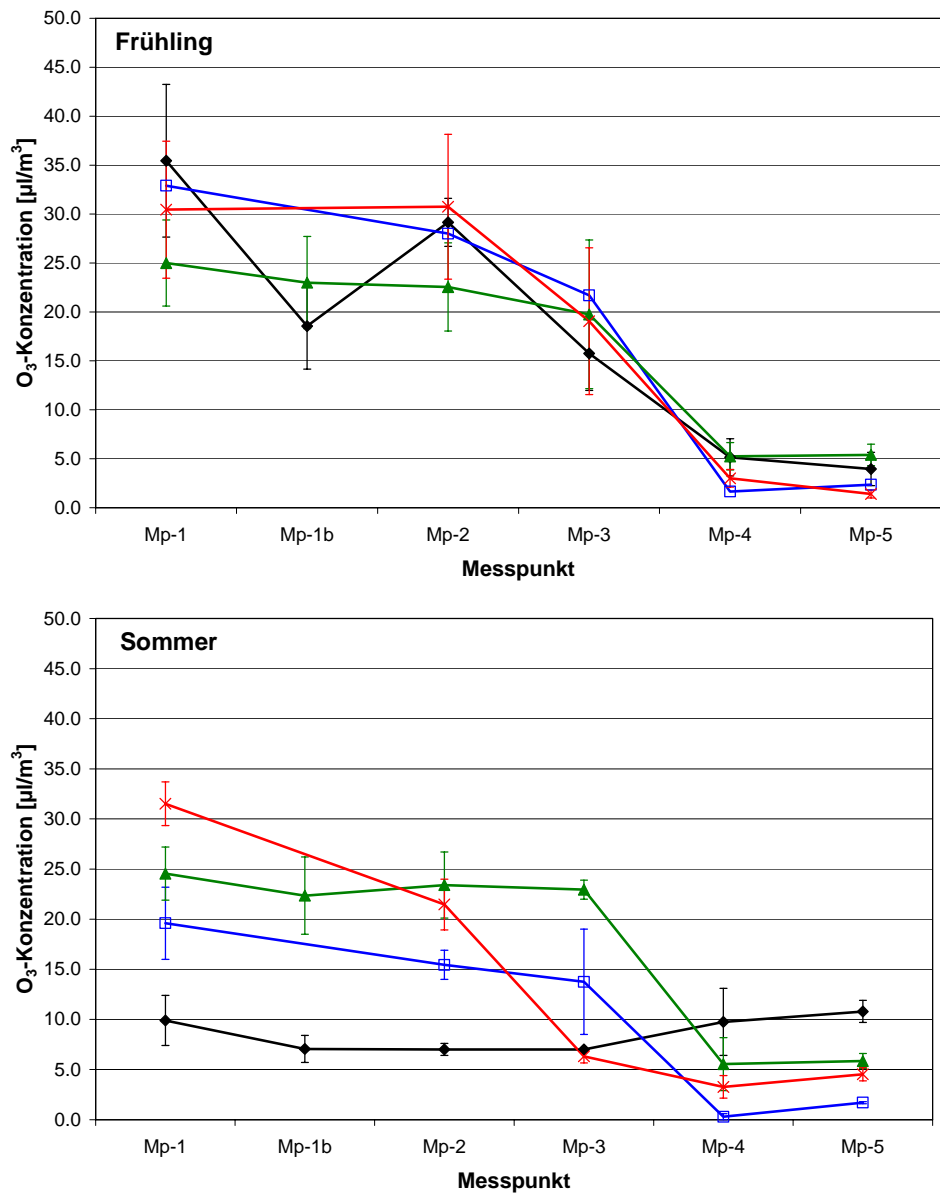


Abb. 6-6 Verlauf der Ozon-Konzentration entlang des Luftwegs in den vier untersuchten Objekten anlässlich von Messungen im Frühjahr und Sommer. Die Messwerte wurden aus zwei 10-Minuten-Intervallen (Vor- und Nachmittagsmessung) gemittelt. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung über die gesamte Messdauer an.

◆ Haus A □ Haus B ▲ Haus C × Haus D

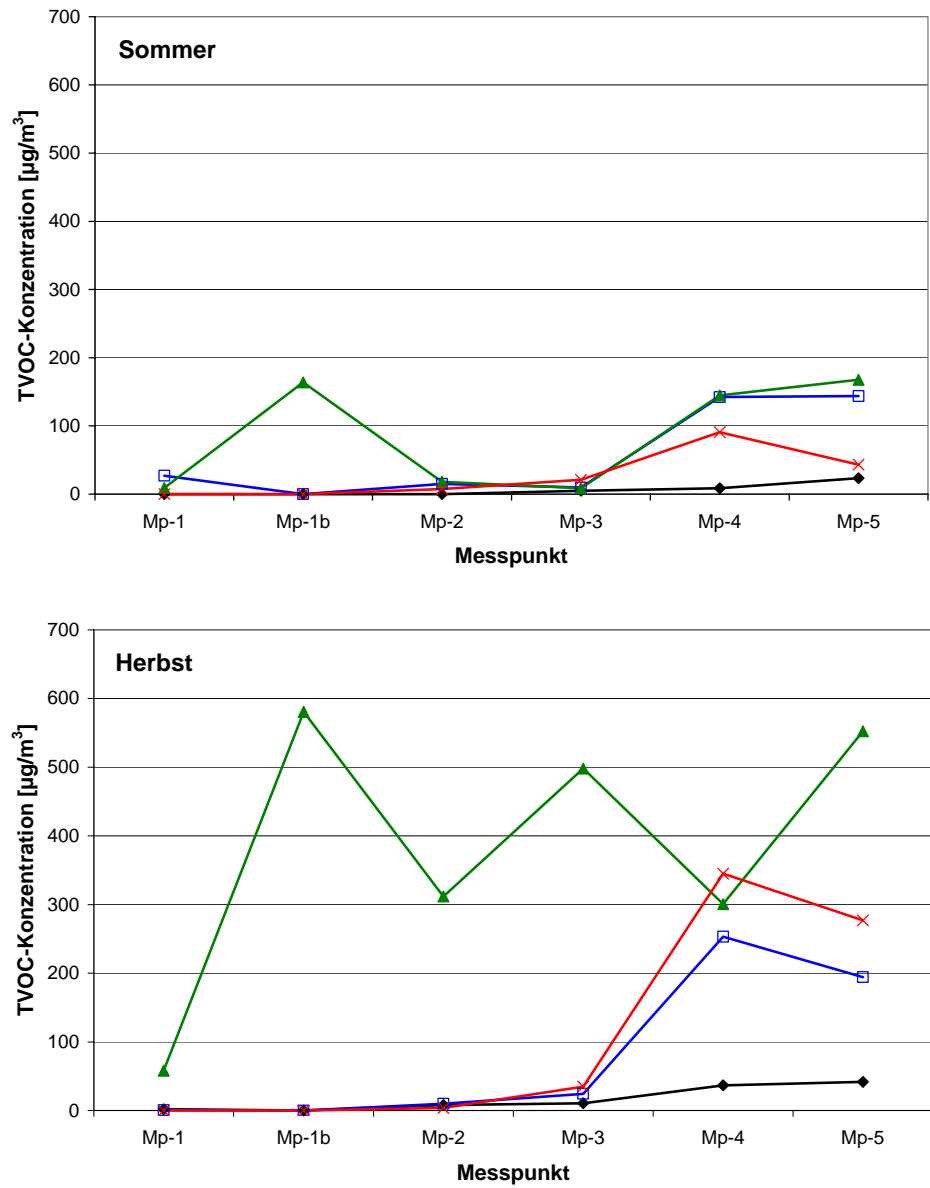


Abb. 6-8 Verlauf der TVOC-Konzentration entlang des Luftwegs in den vier untersuchten Objekten anlässlich von Messungen im Sommer und Herbst.

◆ Haus A □ Haus B ▲ Haus C × Haus D

6.3.2 Interpretation der chemischen Messresultate

Die an den vier Häusern durchgeführten Messungen der chemischen Schadstoffe Staub, Kohlendioxid, Kohlenmonoxid, Stickoxid, Ozon und VOC zeigen gesamthaft auf, dass keine massiven Beeinträchtigungen der Raumluftqualität durch die mechanische Wohnungslüftung auftreten. Feinheiten konnten mit den angewendeten Messmethoden und dem Messkonzept (Messumfang, Stichprobenwahl, etc.) nicht erhoben werden. Um unsere Resultate zu validieren, wurde versucht, stets einen Vergleich mit anderen Studien herzustellen. Dabei fällt auf, dass für die Substanzen Kohlenmonoxid, Kohlendioxid und Stickoxide wenig Literatur zu finden ist. Im Fokus der Recherchen stehen eher die Belastungen Staub, VOC und Ozon.

Staub

Lungengängige Stäube führen zu Erkrankungen der Atemwege, zur Erhöhung der Mortalität und des Krebsrisikos. Die Staubmessungen zeigen, dass die Aussenluft- und Raumluftwerte im Bereich der üblichen Feinstaubkonzentrationen in der Umwelt (Buwal 2002) liegen. Die Aussenluftwerte korrespondieren mit den in der Literatur erhobenen Daten für ländliche Gebiete (Haus B und D) und für Standorte in Strassennähe (Haus A und C). Alle gemessenen Aussenluftwerte zeigen eine deutliche Abhängigkeit von der Witterung. Der Grenzwert (Jahresmittelwert) in der schweizerischen Luftreinhalteverordnung für PM10 liegt bei $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Da die verwendete Messmethode in den Leitungen eine zu hoch angesetzte Nachweisgrenze aufweist, konnten leider keine Daten zu den Staubkonzentrationen in den Lüftungsleitungen erhoben werden. Die im Innenraum gefundenen Werte zeigen jedoch, dass die Lüftungssysteme und Filter weder zu einer Verringerung noch zu einem zusätzlichen Eintrag von Feinstaub ins Hausinnere beitragen. Es lassen sich in der Raumluft keine signifikanten Unterschiede der Staubkonzentrationen feststellen, die eindeutig auf die eingesetzten Filter zurückzuführen sind (Haus A: Feinstaubfilter, Haus B: Grobstaubfilter, Haus C: Grobstaubfilter, Haus D: Fein- und Grobstaubfilter).

Ein beim Messpunkt 3 eingesetztes Online-Gerät (Daten nicht gezeigt) hat Staubkonzentrationen in den Luftleitungen im Bereich von $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ergeben. Dies deutet darauf hin, dass in den Luftleitungen keine Kontaminationsquellen vorhanden sind. Es müssen also Quellen im Innenraum vorliegen. In Monn und Junker (1999) wird der Einfluss der Aktivität in Innenräumen auf gemessene Staubkonzentrationen erläutert.

In der Literatur finden sich viele Studien, welche Staubkonzentrationen in Luftleitungen aufgrund von „Materialproben“, also in der Einheit g/m^2 bestimmen (Beispiel Bluysen et al. (2000) und Müller et al. (2000)). In diesen Studien wird festgestellt, dass auch Luftleitungen grundsätzlich Quellen für Staubkontaminationen sein können, insbesondere wenn während der Bauphase nicht sorgfältig gearbeitet wurde. Diese Messungen können jedoch nicht direkt verglichen werden mit den hier durchgeführten Luftmessungen.

Der festgestellte Anstieg der Feinstaubkonzentration in Haus C könnte ev. auf eine Verunreinigung im Lüftungssystem zurückgeführt werden. Genauso gut kann der Feinstaub jedoch aus hausinternen Aktivitäten stammen (hohe Belegung der Wohnung). Die durchgeführten Messungen geben dazu keine eindeutigen Resultate.

Der hohe Innenraumwert im Sommer in Haus B ist auf das Rauchen einer einzelnen Zigarette zurückzuführen. Diese Zigarette ist auch bei den Messungen des Kohlenmonoxids festgestellt worden.

Kohlendioxid

Kohlendioxid ist für Mensch und Tier in den üblicherweise vorkommenden Immissionskonzentrationen nicht toxisch. Kohlendioxid wird u.a. vom Menschen selbst (Atmung) produziert. Es ist ein typischer Indikator für die Belastung der Raumluft durch Stoffwechselprodukte (Körpergerüche).

Dieses Phänomen konnte mit den Messungen nachgewiesen werden. Die Raumluftkonzentration (Messpunkte 4 und 5) war immer stark abhängig von der momentanen Belegung des Raumes (Aufenthalt von Messtechnikern und Bewohnern im entspr. Raum) und von der Lüftungsleistung. Daher stammen auch die grossen Unterschiede der Vor- und Nachmittagsmessungen.

Es wurde festgestellt, dass die Lüftungen generell für geringe Aktivität ausgelegt sind. Bei hoher Aktivität ist eine höhere Lüftungsstufe oder Fensterlüftung notwendig, um den Grenzwert in der VDI Richtlinie (1'500 ppm CO₂) einhalten zu können.

Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid ist ein Atemgift für den Menschen und für warmblütige Tiere. Im Allgemeinen wurden sehr geringe Kohlenmonoxidkonzentrationen festgestellt. Sie liegen alle im Bereich der normalen Umgebungsluft, wie sie vom Buwal (2002) gemessen wurden und sind deutlich tiefer als der in der Luftreinhalteverordnung (LRV 1992) festgesetzte Immissionsgrenzwert (ca. 7 ppm).

Ob die im Vergleich zum Frühling im Sommer noch tieferen Konzentrationen an Kohlenmonoxid (schon in der Aussenluft) auf photochemische Reaktionen mit Ozon (Oxidation) zurückzuführen sind, kann aufgrund der von uns erhobenen Daten nicht mit Eindeutigkeit festgestellt werden.

Kohlenmonoxid ist ein typischer Aussenluftschadstoff. Entlang des Luftwegs in der Lüftungsanlage konnten aufgrund unserer Messungen keine Senken oder Quellen eruiert werden. Der im Frühling feststellbare Drift (Erhöhung der CO-Konzentration entlang des Luftwegs) ist nicht signifikant und auch nicht erklärbar. Im Sommer hat sich dieser Effekt nicht wiederholt.

Deutlich zu erkennen ist – wie schon beim Feinstaub erwähnt – der Rauchereffekt: Die vormittags gerauchte Zigarette in Haus B äussert sich als Kohlenmonoxid-Peak.

Stickoxide

Unter dem Begriff Stickoxide werden u.a. Stickstoffdioxid (NO₂) und Stickstoffmonoxid (NO) zusammengefasst, da NO rasch zu NO₂ oxidiert. Stickoxide führen zu Erkrankungen der Atemwege. Stickoxid ist eine wichtige Vorläufersubstanz für die Bildung von sauren Niederschlägen, lungengängigen Stäuben und von Photooxidantien (Sommersmog).

Die für Stickstoffdioxid (NO₂) gemessenen Konzentrationen entsprechen eher starken Belastungen (Agglomerationsstandorte) (Buwal 2002). Typisch ist der Rückgang der Konzentrationen im Sommer. Entlang des Luftwegs durch die Lüftungsanlage wurden weder Senken noch Quellen entdeckt.

Die gemessenen Stickstoffmonoxidkonzentrationen befinden sich alle im unteren Nachweisbereich der verwendeten Messmethode und müssen deshalb vorsichtig interpretiert werden.

Es ist jedoch eindeutig, dass im Sommer insbesondere bei Haus A und B erstaunlich hohe Werte in der Aussenluft gemessen wurden. Die hohen Werte sind nicht einfach erklärbar, gemäss Buwal (2002) sind die Stickstoffmonoxidkonzentrationen in der Aussenluft im Sommer stets deutlich tiefer als im Frühjahr. Für unsere Fragestellung ist jedoch wichtiger, dass entlang des Luftwegs auch für Stickstoffmonoxid keine Senken und Quellen entdeckt werden konnten.

Für Stickoxide sind in der schweizerischen Luftreinhalteverordnung keine Grenzwerte festgelegt. Für Stickstoffdioxid beträgt der Jahresmittelwert $30\mu\text{g}/\text{m}^3$, der 24h-Mittelwert $80\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ozon

Ozon in Bodennähe (Sommersmog) reizt die Schleimhaut der Atemwege und vermindert die Leistungsfähigkeit der Lunge. Eine erhöhte Ozonkonzentration reizt vor allem alte Menschen, Menschen mit Lungenproblemen und Kinder.

Ozon in Bodennähe entsteht vor allem in heissen Sommermonaten. Da an den Messdaten eher untypisches Sommerwetter (zwar schön aber kühl und viel Luftbewegung) ohne grössere Schönwetterperiode stattfand, sind auch die Ozonwerte in der Aussenluft untypisch tief, im Sommer sogar tiefer als im Frühling.

Laut der schweizerischen Luftreinhalteverordnung müssen 98% der $\frac{1}{2}$ -h-Mittelwerte eines Monats unter $100\mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen.

Von Interesse ist der Ozonkonzentrationsverlauf im Innenraum und innerhalb des Lüftungssystems. Im Innenraum ist eine deutliche Senke auszumachen. Es wird angenommen, dass die Ozonkonzentration im Innenraum vor allem durch Adsorption und Reaktion an Oberflächen abnimmt; Gasreaktionen sind wohl zu langsam. In Weschler (2000) wird das Phänomen Ozon im Innenraum genau umschrieben. Einerseits stellt er fest, dass sowohl der Transport von Aussen nach Innen nicht vernachlässigbar ist. Grosse Luftmengen, die von aussen in den Innenraum gebracht werden, tragen also zu einem erhöhten Ozonlevel im Innenraum bei. Andererseits, und dies trifft wohl eher für Bürobauten als für Wohnhäuser zu, sind die Ozonquellen im Innenraum häufiger geworden (Laserprinter, Photokopierer etc.). Weschler erläutert die mit Ozon zusammenhängende „indoor chemistry“ als eine wichtige Einflussgrösse für das Innenraumklima (Reaktionen mit chemischen Stoffen und mit Oberflächen). Lee et al. (2002) haben den Zusammenhang zwischen NO_2 , HONO und Ozon genauer untersucht und konnten in ihren Messungen eine Abhängigkeit der drei Substanzen feststellen.

Auch innerhalb des Lüftungssystems kommt es bereits zu einer Abnahme der Ozonkonzentration. Auch hier handelt es sich wahrscheinlich um eine Oberflächenreaktion. Die Verweildauer der Luft im Lüftungssystem ist dabei ein entscheidender Faktor.

In Abb. 6-6 fällt bei Haus A im Frühling der tiefe Wert bei Messpunkt 1b auf: Er ist auf eine falsche Klappenstellung zurückzuführen, die zum Ansaugen von Kellerluft geführt hat.

VOC

VOC ist ein Sammelbegriff für flüchtige organische Verbindungen. Einerseits gibt es flüchtige organische Verbindungen, die toxisch (Bsp: Benzol ist krebserregend) sind, andererseits gibt es aber auch flüchtige organische Verbindungen die völlig harmlos sind. Sie sind alle unter dem Begriff VOC zusammengefasst. Sie gehören zu den wichtigen Vorläufersubstanzen für die Bildung von Photooxidantien (Sommermog).

Grundsätzlich sind die Ergebnisse so zu interpretieren, dass im Lüftungssystem selber keine VOC-Quellen entdeckt werden konnten und dass VOC typische Innenraumschadstoffe sind (d.h. Quellen im Innenraum: Baustoffe, Einrichtungsgegenstände, Haushaltprodukte). Ein Sonderfall ist Haus C, bei dem auch in der Aussenluft schon sehr untypisch hohe VOC-Konzentrationen gemessen werden konnten. Die Konzentrationen sind an den verschiedenen Messpunkten saisonal stark schwankend (Bsp. Haus A Sommer und Herbst tief), ebenso die Zusammensetzung (Substanzgruppen) der TVOC.

Die gemessenen Konzentrationen der vier Häuser liegen im Bereich von fast Null – 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Sommer und 50 – 350 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Herbst. Eine Studie des deutschen Bundesgesundheitsamt, in welcher 1985/86 ca. 480 Wohnungen bezüglich der VOC-Konzentrationen im Innenraum untersucht wurden, zeigt als normale TVOC-Bereiche Konzentrationen von 200 – 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Seifert 1999).

In unseren Messungen wurden auch gewisse sehr leicht flüchtige organische Verbindungen (VVOC) erfasst, die gemäss WHO (WHO 1989) auch zu den VOC gehören, nach VDI-Richtlinie 4300 jedoch nicht erfasst würden. Insbesondere im Herbst wurden sehr hohe VVOC-Konzentrationen gemessen (Daten nicht gezeigt), die nicht erklärbar sind (v.a. Ethanol, Aceton und Isopropanol). In den meisten Studien werden diese Substanzen nicht berücksichtigt und auch in der Literatur erscheinen sie kaum, so dass die Resultate nicht validiert werden konnten.

Nach der Reinigung der Anlage in Haus C konnten Alkane und BTEX (Ölbestandteile bzw. Benzinkohlenwasserstoffe, vergleiche Abb. 6-8) vermehrt nachgewiesen werden. Die gemessenen Konzentrationen lagen deutlich über der verschiedentlich empfohlenen Grenze Zielbereiche von unter 200 – 300 $\mu\text{g TVOC}/\text{m}^3$ („Komfortbereich“ (Mølhave 1991)). Dabei ist zu beachten, dass diese Grenze in etwa dem Median von Innenraum-VOC-Werten entspricht. Mit der Zeit ist ein Abklingen der vermutlich reinigungsbedingten Stoffe zu erwarten.

6.4. Biologische Schadstoffe

6.4.1 Ergebnisse der biologischen Schadstoffmessungen

Schimmelpilze

Die Schimmelpilzkonzentrationen in der Aussen- sowie in der Raumluft zeigten einen klaren saisonalen Verlauf. Sie waren im Frühling gering (140 – 400 KBE/m³ in der Aussen-, 30 – 240 KBE/m³ in der Innenluft), stiegen im Spätsommer zumindest in der Aussenluft auf ungefähr das Zehnfache an und sanken im Herbst wieder deutlich, jedoch noch nicht bis aufs Frühlings-Niveau. Die Sommerwerte in der Aussenluft waren im oberen zu erwartenden Bereich (Herr et al. 1999 gibt an, dass die Werte meist deutlich unter 5'000 KBE/m² sind). Sowohl bezüglich Aussen- als auch Innenraumluftkonzentrationen gab es eine Rangfolge unter den Häusern, die mit wenigen Ausnahmen eingehalten wurde (die höchsten Konzentrationen fanden sich in der Regel bei Haus A, die tiefsten ausnahmslos bei Haus C, dazwischen lagen die Häuser D und B).

Die Schimmelpilzkonzentrationen innerhalb des Lüftungssystems (Messpunkte 2 und 3) waren durchwegs sehr tief, wobei bei Messpunkt 3 teilweise eine Beeinflussung durch die Raumluft angenommen werden muss. Auch an diesen Messpunkten waren die Konzentrationen in Haus C am tiefsten (praktisch Null), am höchsten waren sie in Haus B mit Werten zwischen 30 und 120 KBE/m³.

Das Verhältnis der Schimmelpilzkonzentrationen von aussen zu innen zeigt, dass keine signifikanten lüftungsinternen oder rauminternen Quellen vorliegen.

Bei Haus A wurde eine Kontamination des Erdregisters festgestellt. Die Werte bei Messpunkt 1b lagen höher als die Aussenluftkonzentrationen, ausser im Sommer, wo diese sehr hoch war (4'800 KBE/m³). Die Resultate der Schimmelpilzmessungen sind in Abb. 6-9 dargestellt.

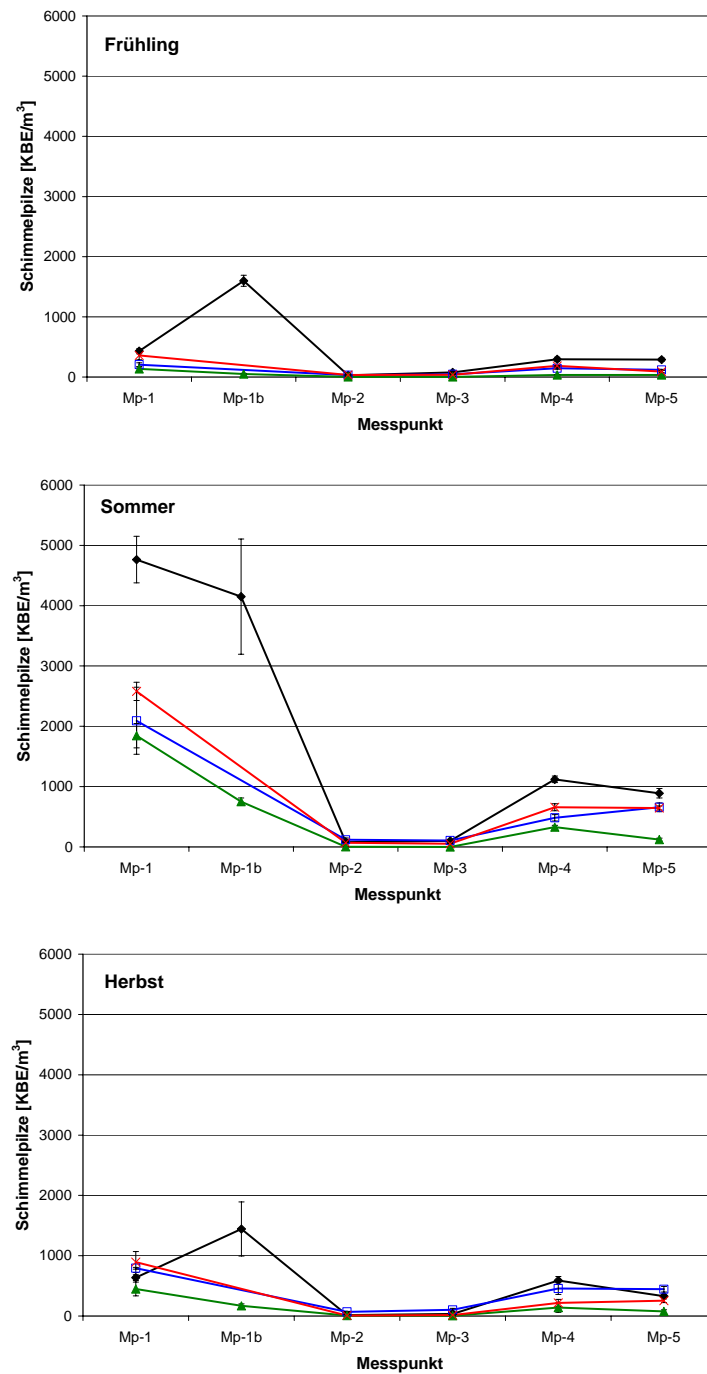


Abb. 6-9 Verlauf der Schimmelpilz-Konzentration entlang des Luftwegs in den vier untersuchten Objekten anlässlich von Messungen im Frühjahr, Sommer und Herbst. Die Messwerte wurden aus je drei beaufschlagten Agarplatten am Vor- und am Nachmittag gemittelt, bzw. (Messpunkt 3, Sommer und Herbst) durch mehrstündige kumulative Probenahme auf Polycarbonatfilter ermittelt. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung über alle Einzelwerte an.

◆ Haus A □ Haus B ▲ Haus C × Haus D

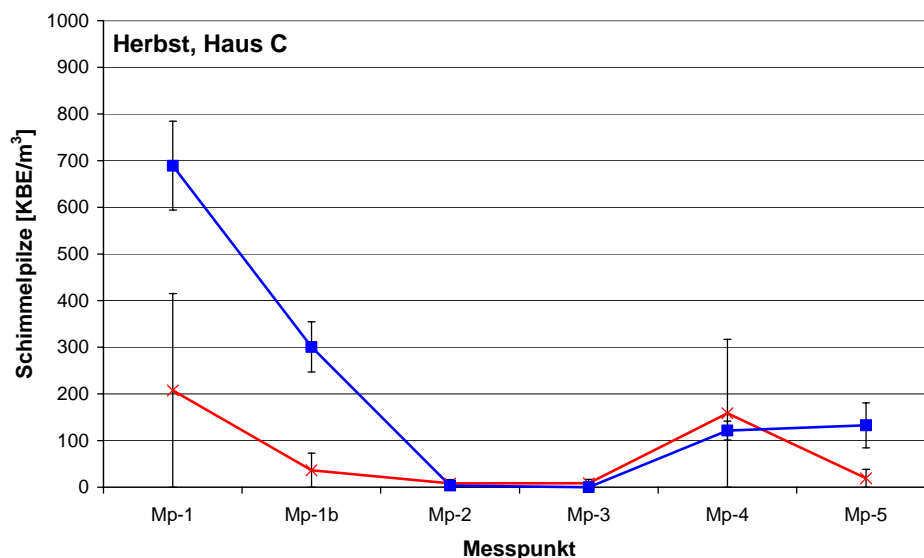


Abb. 6-10 Verlauf der Schimmelpilz-Konzentration entlang des Luftwegs am Vor- und Nachmittag anlässlich der Herbst-Messung in Haus C. Die Messwerte wurden aus je drei beaufschlagten Agarplatten am Vor- und am Nachmittag gemittelt. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung an. Auffällig ist der starke Anstieg der Schimmelpilzkonzentration in der Aussenluft am Nachmittag.

—×— Vormittag —□— Nachmittag

Bakterien

Die Bakterienkonzentrationen in der Aussenluft schwankten saisonal deutlich weniger stark als die Schimmelpilzkonzentrationen. Die Werte von Haus C lagen meist am höchsten (250 – 710 KBE/m³) was ev. auf den vor UV-Licht geschützten Standort der Aussenluftansaugung zurückzuführen ist. Im Frühling konnte aufgrund der Windverhältnisse bei Haus D eine Rückkopplung mit der Abluft nicht ausgeschlossen werden. Die Abscheideeffizienz der Filter war auch für Bakterien gut (max. 30 KBE/m³ bei Messpunkt 2). Im Innenraum stieg die Bakterienkonzentration auf recht hohe Werte (500 – 2'700 KBE/m³). Die Unterschiede zwischen den Häusern und zwischen den Messkampagnen sind vermutlich v.a. auf die Belegung, das Benutzerverhalten und die Lüftungsleistung zurückzuführen. Die Resultate sind in Abb. 6-11 zusammengefasst.

Der Anteil gramnegativer Bakterien an der Gesamtbakterienzahl schwankte relativ stark von Messpunkt zu Messpunkt. Es lässt sich kein eindeutiger Trend feststellen (Resultate nicht gezeigt).

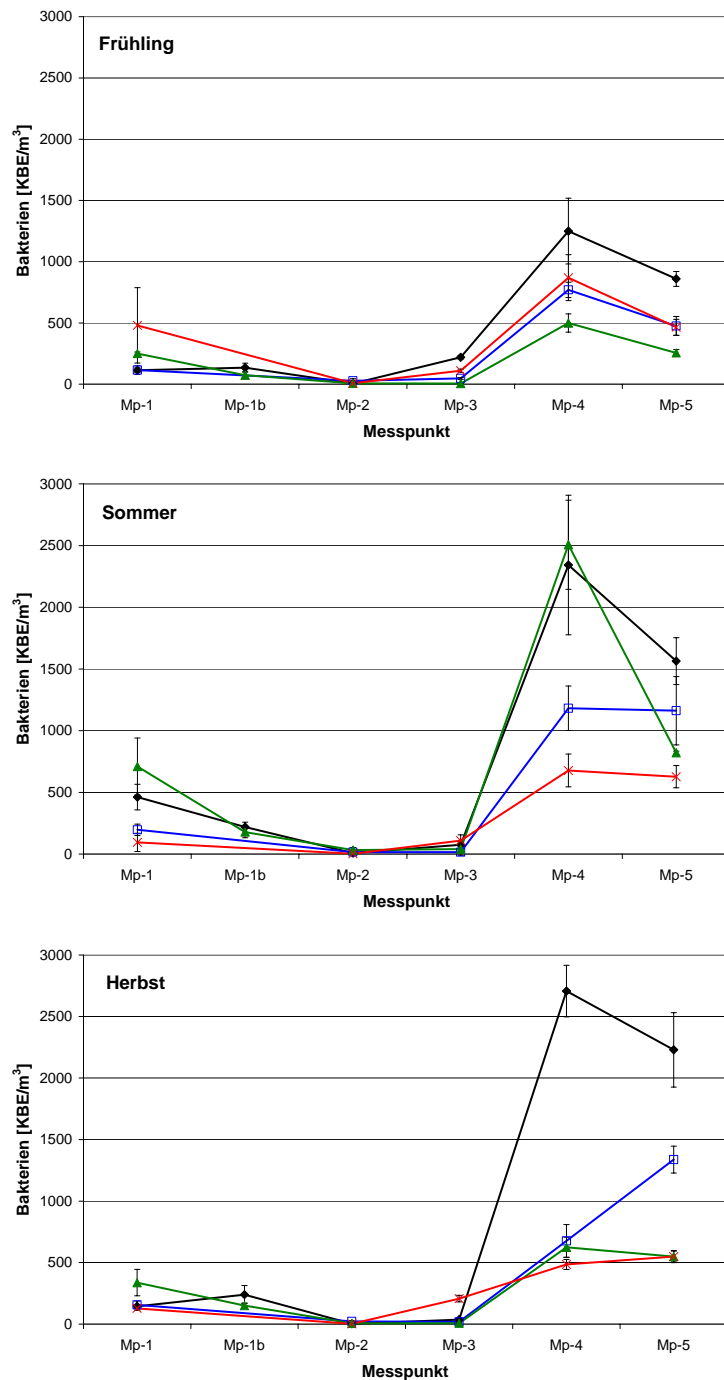


Abb. 6-11 Verlauf der Bakterien-Konzentration entlang des Luftwegs in den vier untersuchten Objekten anlässlich von Messungen im Frühjahr, Sommer und Herbst. Die Messwerte wurden aus je drei beaufschlagten Agarplatten am Vor- und am Nachmittag gemittelt. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung über alle Einzelwerte an.

◆ Haus A □ Haus B ▲ Haus C × Haus D

Endotoxine

Die Endotoxin-Konzentrationen waren allgemein sehr gering und lagen durchwegs unter $0,5 \text{ ng/m}^3$. Die Werte lagen teilweise nur knapp über, einige auch unter der Nachweisgrenze von ca. $0,004 \text{ ng/m}^3$. Insbesondere bei den Messpunkten im Lüftungssystem (MP 2 und 3) konnten kaum je Endotoxine nachgewiesen werden. Die Messungen in der Aussen- und Innenraumluft bestätigten qualitativ die Ergebnisse

der Bakterienmessungen (Abb. 6-12). Auffällig waren erneut die Innenraumwerte in Haus A (0,2 – 0,44 ng/m³).

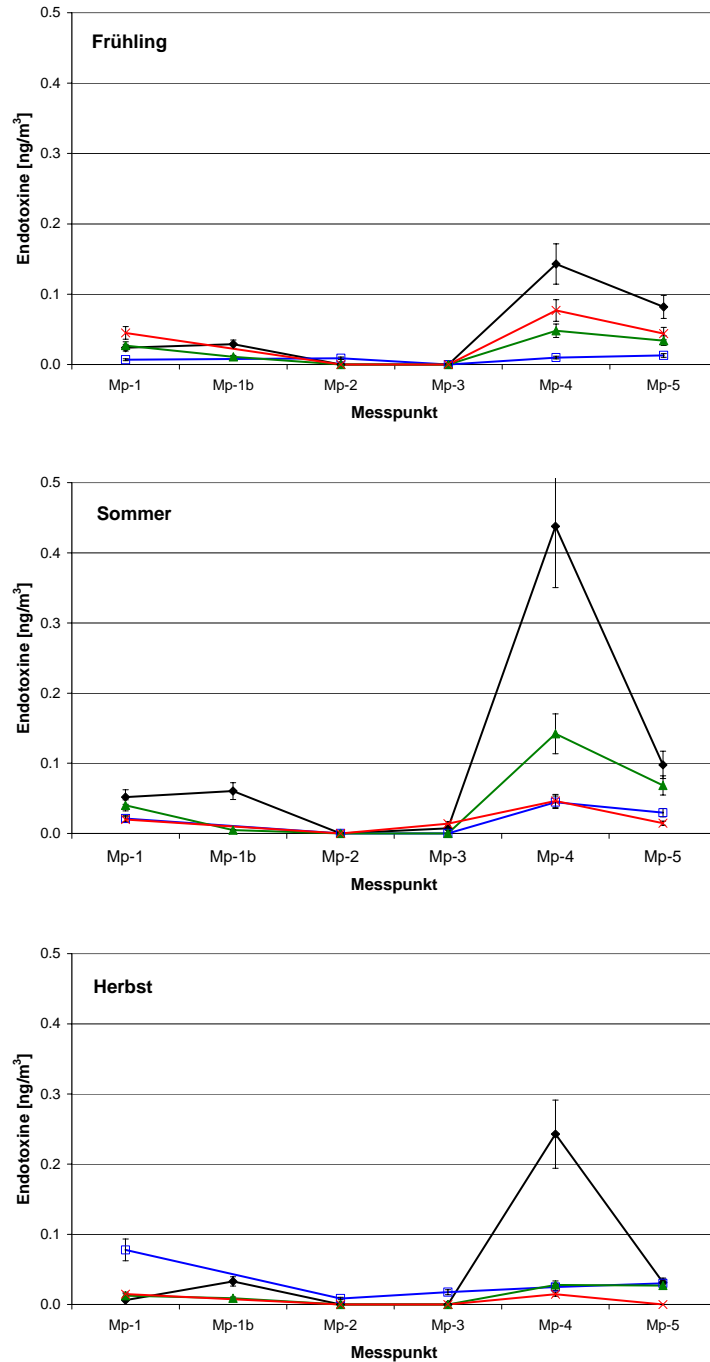


Abb. 6-12 Verlauf der Endotoxin-Konzentration entlang des Luftwegs in den vier untersuchten Objekten anlässlich von Messungen im Frühjahr, Sommer und Herbst. Die Endotoxinkonzentration wurde während eines Messtages kumulativ erfasst. Die Fehlerbalken zeigen die Standardabweichung der Analysenmethode an.

◆ Haus A □ Haus B ▲ Haus C × Haus D

6.4.2 Interpretation der biologischen Messresultate

Generell konnte aufgrund der durchgeführten Messungen keine Kontamination sowohl der Leitungen als auch der Filter durch biologische Schadstoffe festgestellt werden. Eine Ausnahme bildet Haus A: im Erdregister dieses Hauses wurde eindeutig eine Schimmelpilzkontamination entdeckt! Zur Vermeidung solcher Kontaminationen sind in Flückiger et al. (1997) Tipps und Planungsgrundlagen aufgeführt.

Schimmelpilze

Hohe Konzentrationen an Sporen und gewissen Zellwandkomponenten (nicht infektiöser Art) können zu Beschwerden wie Atemwegsentzündungen und bei längerer Exposition auch bei tieferen Konzentrationen zu allergischer Alveolitis (asthmatische Reaktionen) führen. Die Produktion von Mykotoxinen ist eher ein Lebensmittelproblem. Im Lüftungsbereich sehr selten sind infektiöse Schimmelpilzarten, die schon in geringen Konzentrationen Krankheiten wie z.B. Mykosen in der Lunge und anderen Organen auslösen können.

Schimmelpilze in der Aussenluft sind ein stark saisonal geprägter Parameter (Höchstwerte im Spätsommer/Herbst). Die gemessenen Werte sind vergleichbar mit Flückiger (1999) und Herr et al (1999). Die Unterschiede in der Aussenluft sind auf die unterschiedlichen Standorte zurückzuführen; die unmittelbare Nähe zu Wald und landwirtschaftlichem Gebiet des Hauses A zeigt sich in hohen Aussenluftwerten. An einigen Tagen wiesen die Schimmelpilzkonzentrationen in der Aussenluft vermutlich einen ausgeprägten Tagesgang auf (Abb. 6-10). Flückiger (1999) erwähnt diesbezüglich, dass charakteristische Rhythmen der Sporenkonzentrationen in der Aussenluft zu beobachten sind, sowohl in Bezug auf die Saison als auch in Bezug auf einen Tagesverlauf (diurnaler Rhythmus mit maximalen Konzentrationen um die Mittagszeit).

Hohe Raumluftwerte werden durch rauminterne Quellen wie z.B. befallene, feuchte Baumaterialien, Topfpflanzen, feuchte, schmutzige Teppiche oder – im Sommer – durch offene Türen und Fenster begründet.

Grundsätzlich konnte innerhalb des Lüftungssystems keine Schimmelpilzkontamination festgestellt werden. Vor allem bei den Objekten A und C ist die Abscheidung auf den Filtern sehr effizient.

Zahlreiche Studien (u.a. zur Reinhaltung von Lüftungssystemen und zur Verhinderung von Schimmelpilzkontaminationen) (z.B. Brief und Bernath 1988, Elixmann 1989, Flannigan und Morey 1996, Keune 1997, Möritz 1996 und das Projekt AIR-LESS) belegen jedoch, dass Schimmelpilzkontaminationen bei unsachgemäßem Gebrauch oder unsachgemässer Wartung durchaus möglich (und gar nicht selten) sind.

Im Erdregister von Haus A konnte eine Verkeimung durch Schimmelpilze nachgewiesen werden.

Bakterien

Bakterien benötigen – im Gegensatz zu Schimmelpilzen – höhere Feuchtigkeitswerte zur Vermehrung (v.a. stehendes Wasser).

Bei gehäuftem Vorkommen von Bakterien (für Lüftungsanlagen relevant sind vor allem lange Expositionszeiten) werden auch harmlose Bakterien problematisch. So können z.B. Aktinomyzeten im Heustaub Atemwegsbeschwerden auslösen.

Infektiöse Bakterien, die eingeatmet oder über den Mund (Hände, Nahrung) aufgenommen werden, können bereits in geringer Zahl Krankheiten auslösen (z.B. Legionärskrankheit).

Bakterien sind ein typischer Innenraumschadstoff (Quellen: v.a. Mensch & Tier, aber auch z.B. verschmutzte Luftbefeuchter oder Zierbrunnen), es konnten kaum saisonale Schwankungen in der Aussenluft festgestellt werden. In Haus A muss eine hausinterne Quelle vorhanden sein, da auch mit geringer personeller Belegung und hoher Lüftungsleistung ein konstant hoher Wert gemessen wurde. Aufgrund unserer Messungen ist eine Verkeimung der Lüftungsleitungen auszuschliessen. Die eingesetzten Filter sind auch für Bakterien wirksam. Bei Messpunkt 3 konnte ein gewisser Rückschlag der Raumluft aufgrund des hohen Probenahmeflusses (100 L/min) nicht verhindert werden.

Vermutlich sterben die Bakterien auf den Filtern ab (siehe Endotoxine) und zersetzen sich. Durch Staub und Zersetzungsprodukte von Mikroorganismen bleibt wahrscheinlich organisches Material auf den Filtern, welches zusammen mit Feuchte ideale Bedingungen für einen bakteriellen Bewuchs oder für Schimmelpilze bieten kann. Verschiedene Studien haben bakterielles Wachstum auf Filtern nachgewiesen (zum Beispiel Morey 1988, Martikainen et al. 1990, Möritz 1996, Möritz et al. 1998). Dies wurde jedoch in unseren Messungen nicht festgestellt (auch nicht im Herbst, bei sehr feuchten Bedingungen).

Endotoxine

Endotoxine sind Zellwandbestandteile gramnegativer Bakterien, die beim Tod der Zelle freigesetzt werden. Sie werden mit gewissen Atemwegsbeschwerden (z.B. Schleimhautreizungen, Atemwegsentzündungen, Asthma oder chronische Bronchitis) in Verbindung gebracht und sind ebenfalls ein Indikator für das Vorhandensein von Bakterien.

Eine deutsche Studie, in welcher 405 Wohnhäuser bezüglich ihrer Endotoxinkonzentrationen im Hausstaub studiert wurden (Bischof et al. 2002), erhält eine mittlere Konzentration von 2'274 ng Endotoxin / g Hausstaub. Rechnen wir unsere Daten grob um auf die in der Luft gemessene Menge Staub, erhalten wir Daten in derselben Grössenordnung (Beispiel Haus C, Frühling: 2'182 ng Endotoxin / g Staub),

Die gemessenen Werte in allen Häusern sind tief (vergleiche hierzu Seidel 1996). Möritz (1996) stellte nämlich fest, dass feuchte Luftfilter Endotoxinquellen sein können. In unserem Fall konnten weder im Frühling hinter dem Lufterdregister noch im Herbst bei feucht-kalter Witterung über längere Zeit Endotoxine gefunden werden. Daher liegt die Vermutung nahe, dass Endotoxine auf den Filtern abgebaut oder zurückgehalten wurden. Eine Untersuchung der Filtermaterialien wäre sicher sinnvoll. Es konnte eine gute Korrelation mit den Bakterienkonzentrationen festgestellt werden: Ausser bei Haus B liegen alle Wert an den Messpunkten 2 und 3 tiefer als 0.02 ng/m^3 und die hohen Bakterien-Innenraumwerte in Haus A wurden durch die Endotoxin-Messung bestätigt.

6.5. Spezielle Beobachtungen

6.5.1 Allgemein

Notwendigkeit der Wärmedämmung von Luftleitungen in unbeheizten Zonen

Gerade in den feuchten Jahreszeiten gibt es Klimakonditionen, welche bei schlecht ausgeführten Lüftungsanlagen zu Hygieneproblemen führen können. Es ist wichtig, dass das Luftkanalnetz in den kalten Zonen (unbeheizte Geschosse) konsequent gedämmt wird, damit an keiner Stelle der Taupunkt unterschritten wird. Bei einer Zulufttemperatur von 22°C und einer gemessenen relativen Feuchte von 74% r.F. (Situation Messobjekt B im Sommer) liegt der Taupunkt gemäss h-x-Diagramm bei ungefähr 17°C, was in Kellerzonen oft vorkommt.

6.5.2 Gebäude A

Betrieb Lufterdregister

Die Lüftungsanlage im Gebäude A ist mit einem Lufterdregister (3 Zementrohre $\varnothing=300$ mm à 27 m) ausgerüstet. Es dient zur Luftvorwärmung im Winter und zur Kühlung im Sommer. In der Übergangszeit wird das LER via eines By-Passes umgangen, damit das Erdreich wieder regenerieren kann. Diese Umschaltung erfolgt anhand von Luftklappen mit Antrieben. Es wurde festgestellt, dass die Umstellung nicht immer optimal funktionierte, da die einzelnen Klappen nicht zu 100% geschlossen resp. geöffnet wurden. Dadurch wird die Wirkung des Lufterdregisters eingeschränkt. Für einen einwandfreien Betrieb lohnt es sich, mindestens einmal pro Jahr die Funktionen der Lüftungsanlagen zu überprüfen.

6.5.3 Gebäude B

Steuerung der Ventilatoren

Bei den Vorbereitungen der Messungen im Frühling ist aufgefallen, dass die Ventilatorsteuerung wegen einer defekten Feinsicherung nicht funktionierte und dadurch die Lüftung nicht betriebsfähig war.

Eine Betriebsstörung der Lüftungsanlage wird gerade bei kleinen Luftmengen, wie sie in Wohnungslüftungsanlagen vorkommen, oft nicht unmittelbar festgestellt. Dies im Gegensatz zu einer Störung bei der Raumheizung, welche durch das Abkühlen der Räume rasch festgestellt wird. Um solche Betriebsausfälle besser zu erkennen, empfehlen sich regelmässige Funktionskontrollen und Betriebszustandsanzeigen, die allenfalls im Wohnbereich installiert werden. Häufig wird heute der Stufenwahlschalter direkt im Wohnraum platziert, damit je nach Bedarf die Luftmenge angepasst werden kann.

6.5.4 Gebäude C

Probleme Lufterdregister

Bei der Reinigung der Lüftungsanlage vor der letzten Messung im Herbst wurde ein massiver Wassereintritt im Erdregister festgestellt. Dieser ist aufgrund einer Undichtigkeit an einer Verbindungsstelle und die lang andauernden Regenfälle entstanden. Neben den baulichen Schäden können vor allem durch die grosse Feuchtigkeit Mikroorganismen vermehren. Es ist von grosser Wichtigkeit, dass bei der Installation der Erdregisterrohre die Verbindungsstellen luft- und wasserdicht verschlossen werden und ein genügend grosser Schutz vor Terrainsetzungen vorhanden ist. Gerade auch die Luftdichtigkeit ist besonders wichtig, da sonst die Gefahr von eintretenden Gasen wie das radioaktive Radon (BAG 2000) besteht. Ausserdem sollte eine fachgerechte Entwässerung mit einem genügend grossen Gefälle (mind. 1.5%) in den Rohren installiert werden, damit nirgends stehendes

Wasser vorkommen kann. Flexible Rohre neigen aufgrund von Terrainsetzungen eher zur Bildung von Senkungen, welche zu stehendem Wasser führen.



Abb. 6-13: Wassereinbruch beim Lüfterdregister, Gebäude C, Eintritt in das Lüftungsgerät

Problematik von Feinstaub

Seit der Inbetriebsetzung der Lüftungsanlage sind von den Bewohner/innen verschiedentlich Reklamationen über starke Staubablagerungen auf dem Mobiliar eingegangen. Der Staub stammt mit grosser Wahrscheinlichkeit aus der Bauzeit des Gebäudes. Vom Zeitpunkt der Inbetriebsetzung bis zum problematischen Auswurf von Feinstaub ist in diesem Objekt eine gewisse Zeit verstrichen. Dies hat damit zu tun, dass der anfangs grobe Staub durch sein Gewicht in den Steigzonen vom Luftstrom nur kurz mitgerissen wird und dann wieder nach unten fällt. Durch den Aufprall wird dieser zertrümmert und immer kleiner. Erst wenn der Staub genügend klein ist, kann er bis in Wohnräume gelangen.

Immer wieder sieht man vor und während der Montage Luftkanäle offen auf den Baustellen herumliegen, so dass sich der allgegenwärtige Baustaub auf den Baustellen ungehindert in den Kanälen ablagern kann. Einen effektiven Staubschutz der Geräte und Kanäle ist angebracht. Da aber auch nach der Installation der Lüftungsanlage Arbeiten wie Gipsen, Malen und andere ausgeführt werden, ist es unumgänglich nach Abschluss der Bauarbeiten eine Reinigung der gesamten Anlage vorzunehmen. Wir empfehlen deshalb, sowohl die Reinigung wie auch das

Abdecken von Geräten und Kanälen auf der Baustelle in das Pflichtenheft der Lüftungsinstallateure aufzunehmen.

Standort der Aussenluftfassung

Vielfach werden Aussenluftfassungen aufgrund von ästhetischen Überlegungen möglichst unsichtbar angeordnet. Am Beispiel des Gebäudes C ist die Fassung der Aussenluft im Treppenschacht der Tiefgarage auf dem Untergeschossniveau positioniert (siehe Abb. 5-7). Unmittelbar daneben befinden sich Werk- und Waschräume sowie der Eingang in die Tiefgarage. Der Schacht ist neben einer Senke für Schmutz (Feinstaub, Laub, u.a.) auch eine Senke für schwere Gase (CO_2 , CO , SO_2 , etc.). Von den Mieter/innen wurde immer wieder festgestellt, dass Abgase aus der nahe gelegenen Tiefgarage in das Lüftungssystem und schliesslich in die Wohnungen gelangten. Auch Lösungsmittel von Bastelarbeiten in den Werkräumen gelangen so in die Wohnräume. Es ist klar, dass die Aussenluftfassung an einem denkbar ungünstigen Ort positioniert wurde. Die deutsche Norm DIN 1946 T6 schreibt vor, den Ansaug mindestens 3 m ab Erdreich zu platzieren.

Für künftige Lüftungsplanungen empfehlen wir daher, der Positionierung der Aussenluftfassung besondere Beachtung zu schenken. Solange in der Schweiz keine verbindliche Norm für die Ausführung von Aussenluftfassungen in Kraft ist, empfehlen wir folgende Punkte:

- Ansaugstelle vom Niveau des umliegenden Terrains mind. 1.5 m abheben
- Aussenluftfassung und Fortluftausblas möglichst weit von einander entfernen, damit kein Kurzschluss entstehen kann
- möglichst keine Kompostieranlage in der Nähe
- Einsatz eines Insektengitters gegen das Eindringen von groben Verunreinigungen und Lebewesen. Keine Filter einsetzen, da die Gefahr von Kondensatbildung besteht und eventuell Mikroorganismen darauf wachsen können.
- Immer horizontal ansaugen

6.5.5 Gebäude D

Aussen- und Fortluft

Bei den chemischen und biologischen Messungen ist uns beim Messpunkt 1 aufgefallen, dass die Ausluftfassung und die Fortluft der Lüftungsanlage relativ nahe beieinander liegen.

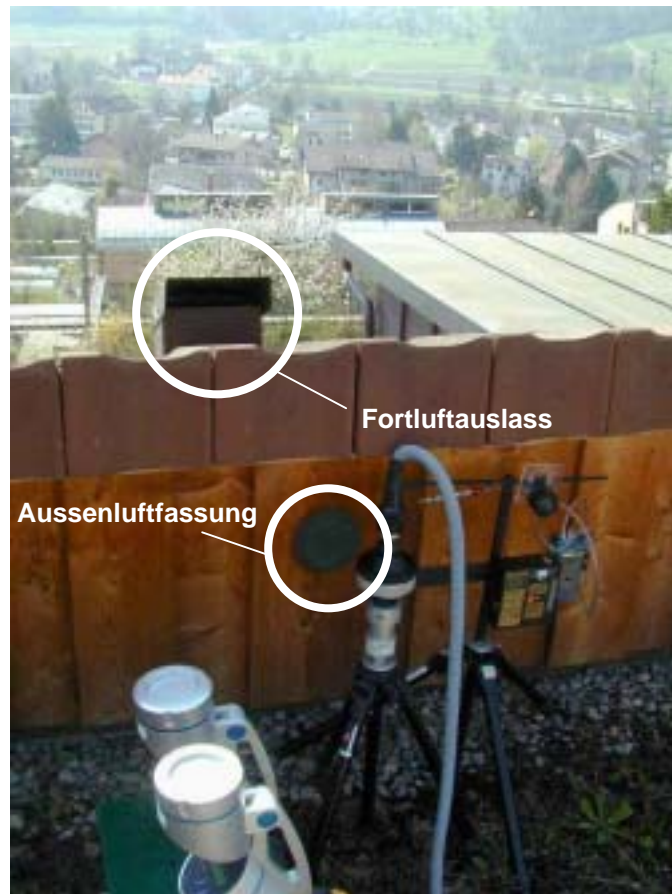


Abb. 6-14: Objekt Birmensdorf, Situation der Aussenluftfassung und des Fortluftauslasses

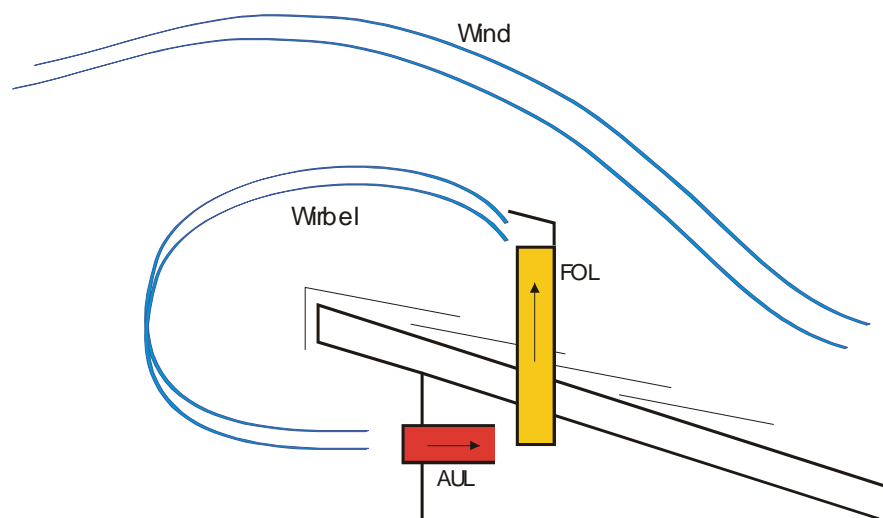


Abb. 6-15: Situation der Aussenluftfassung und des Fortluftausblasstelle im Dachschnitt des Gebäudes D dargestellt

Durch die an dieser Hanglage auftretenden thermischen Winde kann infolge einer Verwirbelung an der Dachkante ein Kurzschluss zwischen der Fortluft und der Aussenluft entstehen und somit die „Frischlufte“ verunreinigt werden. Ein Strömungsversuch mit Rauch hat das bestätigt. Bei der Planung der Lüftung ist auf solche Punkte zu achten. In diesem Fall kann die Situation durch die Umkehrung der Kupferabdeckung (Regenschutz) um 180° korrigiert werden.

7. Schlussfolgerungen

Die wichtigsten Folgerungen der Untersuchungen lassen sich grob wie folgt zusammenfassen. Die messtechnisch festgestellten (luft-)hygienischen Verhältnisse in den Wohnungen zeigten überall gute Resultate. Ein unmittelbarer Handlungsbedarf scheint deshalb nicht zu bestehen. Der Einfluss der Lüftungstechnischen Anlagen (Komfortlüftung) auf die Raumluftqualität ist abgesehen von vereinzelt Mängeln generell vorteilhaft, das heisst auftretende Luftbelastungen werden zuverlässig abgeführt. In den untersuchten Objekten, sind die Anlagen selbst keine Quellen zusätzlicher Raumluftverunreinigung; dies auch bei durchschnittlicher Qualität der Wartung und der Filterwechsel der Anlagen. Die Tatsache, dass trotz verschiedentlich angetroffener Anlagenmängel insgesamt gute Luftqualitäten festgestellt wurden, lässt darauf schliessen, dass es sich bei den Komfortlüftungen um insgesamt robuste Systeme handelt.

Der direkte Einfluss der Bewohnerinnen und Bewohner auf die Luftqualität ist bedeutend stärker als derjenige welcher mit der Komfortlüftungsanlage erzielt werden kann. Mit anderen Worten, typische Nutzer- und bauabhängige Luftbeeinträchtigungen wie Rauchen, Haustiere, Lösungsmittel aus Kosmetika, Feuchteproduktion wie auch baustoffbedingte Emissionen werden bei höheren Belastungen die Raumluftqualität dominieren. Die mit den üblichen Leistungen installierten Komfortlüftungsanlagen sind bei starken Belastungen nicht in der Lage, einwandfreie Innenraumluftqualitäten zu gewährleisten. Die durch eine Grundlüftung erreichte Luftqualität wird insbesondere durch das Rauchen wieder zunichte gemacht. Trotzdem kann auch bei stark belasteten Wohnungen davon ausgegangen werden, dass diese von den Komfortlüftungssystemen profitieren.

Als bedenklich sind aber mindestens die festgestellten erheblichen Planungs- und Ausführungsmängel zu werten. In der Planung bestehen insbesondere dort, wo die Architekten (und eventuell auch die Bauherren) stark einzubinden sind noch grosse Wissensdefizite. Unter diese Bereiche fallen Standort von Luftansaug und Fortluftdurchlass, aber auch Platzierung von Lüftungsgerät und Luftverteilkasten mit entsprechenden Revisionsöffnungen. Diesbezüglich besteht vor allem für Architekten und Lüftungsplaner (von Komfortlüftungen) ein grosser Fortbildungsbedarf.

Eine Reinigung der Luftleitungen ist vielerorts wegen schlechter Zugänglichkeit nur mit erheblichem Aufwand möglich. Generell wird der Inspektion und Reinigung von Komfortlüftungen noch zuwenig Beachtung geschenkt. Viele heutige Systeme können erst ungenügend gereinigt werden.

Im Hinblick auf die rasche Verbreitung dieser sehr beliebten Systeme zur Komfortlüftung muss der Planung sowie der Systemkonzeption in bezug auf Inspektions-

und Reinigungsaspekten unbedingt mehr Beachtung geschenkt werden um die Qualität der Anlagen für die Zukunft zu verbessern.

Folgende Systeme und Komponenten sind grundsätzlich zu bevorzugen:

- Strömungsgünstige Bauweise
- Runde, glattwandige Querschnitte
- Dauerhaft Luft- und Wasserdichte Verbindungsstellen
- Keine ins Rohr hineinstehende Schrauben, Klappen und dergleichen
- Inspektions- und Reinigungsöffnungen
- Keine engen Bogenstücke

8. Zukünftiger Forschungsbedarf

Unter Berücksichtigung der grossen Bedeutung gesundheitlich einwandfreier Anlagen, stellt sich die Frage welche einfachen Methoden den hygienisch/gesundheitlichen Zustand einer Anlage überprüfen lassen. Ein geeigneter Hygiene-Check, welcher Missstände aufzeigt und notwendige Interventionen lokalisieren lässt, wäre sehr begrüssungswert. Eine allgemeine Bestimmung für Inspektionen, z.B. alle 3 Jahre, erscheint für die sich hier stellenden Probleme ungeeignet. Für Anlagen mit Problemen ist ein solches Intervall viel zu lange und für die vielen gut funktionierenden Anlagen ist ein solches Prüfintervall mit Inspektionen der heutigen Art unverhältnismässig. Da wohl die meisten Probleme unmittelbar nach Fertigstellung der Anlagen auftreten, empfiehlt es sich allerdings dann eine eingehende Kontrolle vorzunehmen. Wie soll diese Kontrolle genau aussehen?

In diesem Bereich scheint noch ein Entwicklungsbedarf zu bestehen.

9. Literatur

- BAG 2000 *Radonhandbuch Schweiz, Technische Dokumentation*. Bundesamt für Gesundheit, Abteilung Strahlenschutz, Fach- und Informationsstelle Radon, BBL/EDMZ, 3003 Bern, 2000
- BIA 1997 Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), *Verfahren zur Bestimmung der Schimmelpilz/Hefenkonzentration in der Luft am Arbeitsplatz*. BIA-Arbeitsmappe 14. Lfg. II/95 (9420), 1997
- Bischof et al. 2002 W. Bischof, A. Koch, U. Gehring, B. Fahlbusch, H.E. Wichmann und J. Heinrich, Predictors of High Endotoxin Concentrations in the Settled Dust of German Homes. *Indoor Air* 2002, Vol 12, pp 2-9, 2002
- Bluyssen et al. 2000 P. M. Bluyssen, M. Björkroth, B. Müller, E. de Oliveira Fernandes und C.-A. Roulet, *Why, When and How Do HVAC-Systems Pollute? Characterisation of HVAC Systems related pollution*. Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol.2.
- Brief und Bernath, 1988 R.S. Brief und T. Bernath, *Indoor Pollution: Guidelines for Prevention and Control of Microbiological Respiratory Hazards Associated with Air Conditioning and Ventilation Systems*. *Appl. Ind. Hyg.* 3(1) pp. 5-10.1988"

- Boverket 1992 Swedish Board of Housing, Building and Planning: *Checking the Performance of Ventilation Systems*. Code of Statutes 1992:15
- Buwal 2002 NABEL *Luftbelastung 2001*, Schriftenreihe Umwelt Nr. 343
- Charry 1984 Charry J.M., *Biological Effects of Small Air Ions: Review of Findings & Methods*. Environmental Research, Nr. 34, pp. 351-389, 1984
- Elixmann 1989 J.H. Elixmann, *Filter einer lufttechnischen Anlage als Ökosystem und als Verbreiter von Pilzallergenen*. DUSTRI-Verlag, München-Deisenhofen, 1989
- Fanger 1988 P.O. Fanger, *Olf and Decipol: New Units for Perceived Air Quality*. Build. Serv. Eng. Res. Technol. 9(4) 155-157, 1988
- Finke und Fitzner 1993 U. Finke und K. Fitzner, *Ventilation and Air-Conditioning Systems – Investigation to the Odour and Possibilities of Cleaning*. Indoor Air'93, Helsinki. Proceedings of Indoor Air, Vol. 6, S.279, 1993
- Fitzner und Spiess 1998 K. Fitzner und T. Spiess, *Final Report of the FLT-Investigation: „Steigerung der Luftqualität durch verbesserte Lüftungsgeräte II“*. Forschungsbereinigung für Luft- und Trocknungstechnik, VDMA Frankfurt, 3/1/63/98
- Flannigan und Morey 1996 B. Flannigan und P.R. Morey, *Control of Moisture Problems Affecting Biological Indoor Air Quality*. International Society of Indoor Air Quality and Climate, Ottawa, 1996
- Flückiger et al. 1997 B. Flückiger und H.U. Wanner, P. Lüthy. *Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern*. Schlussbericht. Bundesamt für Energiewirtschaft und Amt für Technische Anlagen und Lufthygiene des Kantons Zürich, Zürich, 1997
- Flückiger 1999 B. Flückiger, *Beurteilung der mikrobiellen Exposition in Wohnungen und Lüftungsanlagen*. ETH Dissertation Nr. 13205, Abteilung der Umweltnaturwissenschaften, Zürich 1999
- Herr et al. 1999 Herr et al., Wirkung von mikrobiellen Aerosolen auf den Menschen. In: Eikmann, T. und Hofmann, R. (Hrsg.): *Stand von Wissenschaft, Forschung und Technik zu siedlungshygienischen Aspekten der Abfallentsorgung und –verwertung*. Schriftenreihe der Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN Bd. 30 (1999), S. 403-408.
- Keune 1997 A. Keune, *Hygiene in der Raumluftechnik – Technische Lösungen in der Planung und Ausführung*. VDI-Gesellschaft, Tagung Technische Gebäudeausrüstung, Hamburg, 1997
- Lee et al. 2002 K. Lee, J. Xue, A. Geyh, H. Özkaynak, B. Leaderer, C.J. Weschler und J.D. Spengler, Nitrous Acid, Nitrogen Dioxide, and Ozone Concentrations in Residential Environments. In: *Environmental Health Perspectives*, Volume 110, Number 2, February 2002
- LRV 1992 Verordnung Nummer SR 814.318.142.1. Luftreinhalteverordnung (LRV) der Schweiz vom 16. Dezember 1985
- Martikainen et al. 1990 P.J. Martikainen, A. Asikainen, A. Nevalainen, M. Jantunen, P. Pasanen und P. Kalliokoski, *Microbial Growth on Ventilation Filter Materials*. Indoor Air 90 3, pp.203-206, 1990.
- Mølhave 1991 L. Mølhave, *Volatile Organic Compounds, Indoor Air Quality and Health*. Indoor Air Volume 4, pp. 357-376, 1991
- Monn und Junker 1999 Ch. Monn und M. Junker, *Indoor/Outdoor Ratios, Deposition and Resuspension of Fine and Coarse Particles*. Proceedings of Indoor Air' 99, Vol.4, 1078-83, 1999

- Morey 1988 P.R. Morey, *Microorganisms in Buildings and HVAC Systems: A Summary of 21 Environmental Studies*. ASHRAE Conference, IAQ88, 1988
- Möritz 1996 M. Möritz, *Verhalten von Mikroorganismen auf Luftfiltern in Raumlufotechnischen Anlagen in Abhängigkeit von den Klimatischen Bedingungen der Lufttemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit*. Verlag für Wissenschaft und Bildung, Berlin, 1996
- Möritz 1998 M. Möritz, *Hygienische Untersuchungen zur Begrenzung der Standzeit von Luftfiltern in RLT-Anlagen*. Abschlussbericht, Institut für Hygiene, FU Berlin, 1998
- Möritz et al. 1998 M. Möritz, H. Schleibinger und H. Rüden, *Investigations on the Survival Time of Outdoor Microorganisms on Air Filters*. Zentralblatt für Hygiene und Umweltmedizin 201(2), pp.125-133, 1998
- Müller et al. 2000 B. Müller, M. Björkroth, U. Plitt und P.M. Bluysen, *Maintenance of HVAC-Systems and Components: How to prevent pollution from HVAC-Systems?* Proceedings of Healthy Buildings 2000, Vol. 2, pp.215 – 220, 2000
- Pasanen et al. 1992 P. Pasanen, A. Nevalainen, J. Ruuskanen und P. Kalliokoski, *The Composition and Location of Dust Settled in Supply Air Ducts*. 13th AIVC Conference Nice, pp 481-188, 1992
- Peijtersen et al. 1989 J. Peijtersen, Ph. Bluysen, H. Kondo, G. Clausen und O. Fanger, *Air Pollution Sources in Ventilation Systems*. Clima 2000, Sarajevo, pp.139-144, 1989
- Seidel 1996 H.J. Seidel, *Umweltmedizin*. Monographie. Thieme-Verlag, Stuttgart 1996
- Seifert 1999 B. Seifert, *Richtwerte für die Innenraumluft - Die Beurteilung der Innenraumluftqualität mit Hilfe der Summe der flüchtigen organischen Verbindungen (TVOC-Wert)*. Bundesgesundheitsblatt 42:270-278,
- Suva 2002 Schweizerische Unfallversicherungsanstalt, SUVA, *Vergleich der bei PDY im Einsatz stehenden a-Staub Probenehmer mittels Feldversuchen*. Interner Bericht, SUVA, Bereich Analytik, Postfach, 6002 Luzern, 2002
- VDI 1998 Verein Deutscher Ingenieure (VDI), VDI 6022, Blatt 1. *Hygienische Anforderungen an raumlufotechnische Anlagen*. Büro- und Versammlungsräume, Beuth Verlag GmbH, Berlin, 1998
- Weschler 2000 C.J. Weschler, *Ozone in Indoor Environments: Concentration and Chemistry*. Indoor Air 2000; Volume 10, pp 269-288
- WHO 1989 World health organization (WHO). *Indoor Air Quality: Organic Pollutants*. Kopenhagen, WHO Regional Office for Europe (EURO reports and studies Nr. 111, 1989

Anhang 1: Das internationale Projekt AIRLESS

In den Jahren 1998 - 2000 ist ein europäisches Projekt namens "Airless" initiiert worden, in welchem auch die Schweiz beteiligt war (durch Claude-Alain Roulet, EPF Lausanne, LESO). Der Schweizerische Beitrag wurde vom Bundesamt für Bildung und Wissenschaft (BBW) unterstützt. Dieses Projekt stellt einen wichtigen Fixstern am Himmel der Innenraumqualitäts-Forschung dar, da es viele parallel laufende Bemühungen gebündelt hat und einen klaren Überblick über die Probleme und Fragestellungen liefert.

In Bluysen [2000] sind die wichtigsten Resultate aus dem Projekt zusammengefasst. Die folgenden Äusserungen beziehen sich alle auf Bluysen [2000] und auf Roulet [2001].

Hauptaussagen

- Wenn ein Lüftungssystem kontaminiert ist und die Innenraumluft zu belasten beginnt, hilft es nicht, den Luftstrom zu erhöhen, die Luft bleibt trotzdem belastet.
- Der Grund für die auftretende Belastung ist meist mangelnder Unterhalt.
- Die Komponenten, welche die Anlage belasten, sind die Filter und ev. die Leitungen
- Prinzipiell ist die Installation von lufthygienisch einwandfreien Lüftungsanlagen möglich.
- Häufig werden die Anlagen eingebaut, um Wärme zurückzugewinnen. Leider konnte aber in Roulet et al. [2000] gezeigt werden, dass die Effizienz dieser Anlagen meist bedeutend tiefer liegt.

Literaturübersicht innerhalb des Projektes

Die Literaturübersicht zeigt, dass die vorhandenen Unterlagen nicht das ganze Spektrum der kritischen Faktoren abdecken.

- Sauberkeit aller Komponenten: Vor allem das Wie und das Wann werden nicht adressiert.
- Unterhaltszyklen: Einzig die Richtlinie 6022 des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI 6022) beinhaltet eine Liste mit Unterhaltszyklen der verschiedenen Komponenten.
- Platzbedarf für Unterhaltsarbeiten: es werden keine konkreten Werte angegeben.

Anforderungen an Komponenten

Für alle Komponenten hat die Forschergruppe innerhalb des Projektes Anforderungen zur Planung und zum Unterhalt der Komponenten erlassen. Diese sind in Tab. A-1 zusammengetragen.

Tab. A-1 Anforderungen zur Planung und zum Unterhalt der einzelnen Komponenten

Generelle Strategien für HVAC-Systeme	
Planung	Betrieb
<i>Verhindern des Eindringens von Verunreinigungen von aussen</i>	
Geeignete Filter, Platzierung Aussenluftansaugstelle	Geeignete Filter bei kontinuierlichem Ansaug
<i>Verhindern von Verunreinigung durch Rezirkulation</i>	
Geeignete Filter, Vorsehen eines Abschaltens der Rezirkulation	Wenn möglich Rezirkulation vermeiden
<i>Systemaufbau / Betriebsstrategie</i>	
Raumluft bei ca. 20°C, Raumfeuchte zwischen 30 und 50%	Wenn das System über Nacht oder am Wochenende abgeschaltet wird: rechtzeitiges Anfahren!
Strategien für Filter	
Planung	Betrieb
<i>Reinhalten der Filter</i>	
Gute Qualität der Filtermaterialien! Keine Feuchte im Bereich der Filter (Schnee, Regen, vom Innenraum her).	Regelmässiges Ersetzen der Filtermatten
<i>Verhindern des Eindringens von Aussenluft</i>	
Sicherstellen, dass kein Leck vorhanden ist.	Sicherstellen, dass kein Leck vorhanden ist.
Strategien für Leitungen	
Planung	Betrieb
<i>Reinhalten der Leitungen</i>	
Materialwahl: es sollte kein Öl benötigt werden während des Herstellungsprozesses! Achten auf Geruchsbelästigungen. Innenoberfläche sollte glatt sein, keine scharfen Ecken im System	Regelmässiges Reinigen der Leitungen
<i>Verhindern von Staubansammlungen und Verhindern des Eindringens von Staub aus der Konstruktion</i>	
Sicherstellen, dass Enden gut verschlossen sind. Wahl eines geeigneten Filtersystems.	Regelmässiges Reinigen der Leitungen und der Filter.
<i>Verhindern von Kondensationspunkten</i>	
Je nach Bedarf Leitungen isolieren!	
<i>Andere Empfehlungen</i>	
Anbringen von Serviceöffnungen, Vermeiden von flexiblen Leitungen (sei schwieriger zu reinigen?)	Prüfen der Platzierung der Serviceöffnungen, insbesondere bei heruntergehängten Decken.